



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



SENTETİK BİYOLOJİ VE ETİK: BİR SİSTEMATİK DERLEME

Ayşe KURTOĞLU

**TIP TARİHİ VE ETİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

DANIŞMAN

Prof. Dr. Berna ARDA

ANKARA

2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SENTETİK BİYOLOJİ VE ETİK:
BİR SİSTEMATİK DERLEME**

Ayşe KURTOĞLU

**TIP TARİHİ VE ETİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Berna ARDA**

**ANKARA
2023**

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Sentetik Biyoloji ve Etik: Bir Sistematiik Derleme” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle bana ve tez danışmanıma aittir. Tezde yer alan deneysel araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ayşe Kurtoğlu

Tarih: 18.01.2023

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Tıp Tarihi ve Etik Anabilim Dalında
Ayşe Kurtoğlu tarafından hazırlanan
“Sentetik Biyoloji ve Etik: Bir Sistemik Derleme” adlı tez çalışması
aşağıdaki jüri tarafından DOKTORA TEZİ olarak
OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 18.01.2023

Prof. Dr. Ahmet ACIDUMAN
Ankara Üniversitesi
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Banu BURUK
TOBB Ekonomi ve Teknoloji
Üniversitesi
Raportör

Prof. Dr. Berna ARDA
Ankara Üniversitesi
Üye

Doç. Dr. Bala GÜR DEDEOĞLU
Ankara Üniversitesi
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Eray Serdar YURDAKUL
Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
İçindekiler	iv
Önsöz	v
Simgeler ve Kısaltmalar	vii
Şekiller	viii
Çizelgeler	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Sentetik Biyolojinin Tanımı ve Amacı	1
1.2. Sentetik Biyolojinin Tarihsel Gelişimi	4
1.3. Sentetik Biyolojinin Temel Stratejileri	15
1.4. Sentetik Biyolojinin Güncel ya da Olası Kullanım Alanları	17
1.5. Sentetik Biyolojinin Sosyal ve Etik Boyutu	21
2. GEREÇ ve YÖNTEM	25
2.1. Araştırmanın Yöntemi	25
2.2. Araştırma Protokolü ve Derleme Süreci	28
2.3. Sınırlılıklar ve Güçlü Yanlar	32
3. BULGULAR	33
3.1. Nicel Bulgular	33
3.2. Tematik Analiz	37
4. TARTIŞMA	87
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	123
ÖZET	128
SUMMARY	129
KAYNAKLAR	130
EKLER	146
Ek-1. Veri Toplama Formu	146
Ek-2. Analizi Yapılan Tam Metinlerin Listesi	148

ÖNSÖZ

Tıp etiği ve biyoetiğin gelişimi ve yerleşik hale gelmesinde teknolojik gelişmelerin etkisi yadsınamaz. Bu bağlamda sentetik biyolojinin hem bir bilim alanı olması hem de teknolojik uygulamalara olanak vermesi onu etik açıdan kaçınılmaz bir ilgi odağı haline getirmiştir. Bu tez ile sentetik biyoloji ve etiğin ilişkisi anlaşılmaya ve ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sentetik biyolojinin gerek kuramsal gerekse de uygulama düzeyinde etiğe ilişkin oldukça geniş bir düşünme, tartışma ve eyleme geçme olanağına sahip olduğunu söylemek abartılı olmayacaktır. Tezin, sentetik biyoloji, tıp etiği, biyoetik ve teknoloji etiği alanında çalışanlara yararlı olmasını umuyorum.

Yüksek lisans eğitimimden itibaren akademik yaşantım süresince ilgisini, bilgisini, emeğini, sevgisini ve anlayışını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Berna Arda'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Hem bu tezin bitimindeki yüreklendirici destekleri hem de araştırma görevlisi olarak çalıştığım süreçteki katkıları için kendisine ne kadar teşekkür etsem azdır. Değerli katkıları için tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ahmet Acıduman ve Dr. Öğr. Üyesi Banu Buruk'a teşekkür ederim.

Anabilim Dalımızın değerli hocaları Prof. Dr. Serap Şahinoğlu, Doç. Dr. Mustafa Volkan Kavas ve emekli öğretim üyesi Prof. Dr. Neyyire Yasemin Yalın'a gerek ders döneminde gerekse sonrasındaki akademik gelişimime katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Değerli mesai ve oda arkadaşım, eş kıdemlim ve dostum Dr. Abdullah Yıldız'a tüm destekleri için minnettarım. Bölümümüz çalışanları sekreterimiz Oya Günel'e, kütüphanecimiz Gonca Ünsal'a ve personelimiz Hasan Yürük'e bölümümüzün huzurla çalışılan bir yer olmasına sağladıkları katkı için teşekkür ederim.

Başta dönem arkadaşlarım olmak üzere, lisansüstü eğitim döneminde birlikte çalışma fırsatı bulduğum tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, sevgili aileme teŖekkürü bir borç bilirim. Bu tezin en büyük destekçileri ve kuŖkusuz cefasını en çok çekenler onlardır. Annem, babam ve ablama ne kadar teŖekkür etsem azdır. Canım kızımız ilk göz ağrımız Kuki'ye, klavyemden kalkmamak suretiyle beni destekleyen çakıl'a, her gün aynı saatte ve aynı ses tonuyla seslenerek masamdan kaldırarak beni destekleyen Badem'e ve ailemizin son üyesi Zeytin'e de teŖekkür etmeden olmaz. Sizleri çok seviyorum.

Ankara, 2022



SİMGELER VE KISALTMALAR

DNA	Deoksiribonükleik Asit
ELSA	Ethical, Legal and Social Aspects
ELSI	Ethical, Legal and Social Implications
iGEM	International Genetically Engineered Machine
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PCR	Polimeraz Zincir Reaksiyonu



ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Dahil etme karar diyagramı	30
Şekil 2.2. Yayın tanımlama süreci akış şeması	31
Şekil 3.1. Yayın türlerine göre yayın sayısı	36
Şekil 3.2. Yayın tanımlama süreci akış şeması	37



ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Veri tabanlarına göre arama planı	29
Çizelge 3.1. Veri tabanlarına göre yayın sayısı	33
Çizelge 3.2. Yıllara ve veri tabanlarına göre yayın sayısı	33
Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar	38



1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın başlarında bir bilim olarak biyolojinin rolü, doğal çevreyi anlamakla sınırlı kalırken; sentetik anlamdaki “yaratıcılık” özelliği fizik bilimine atfedilmiştir. Bu dönemde, polimerler, antibiyotikler, elektronik, atom enerjisi gibi teknolojiler insan yaşamının kalitesini arttırırken; aynı yüzyılın ikinci yarısında bu teknolojilerin ortaya çıkardığı sonuçların çevresel etkileri ile küresel ısınma, kirlilik, yoksulluk ve küresel sağlık sorunlarında insan etkinliklerinin belirleyiciliği fark edilmiştir (Dymond, 2016).

Yirmi birinci yüzyılın başlarına gelindiğinde ise, genetik mühendisliği ve klonlama teknolojileri geliştirilerek, biyoloji alanında da “yaratıcılık” söz konusu olmuştur. Bu bağlamda sentetik biyoloji, yaşam bilimleri alanında, canlı hücre içindeki işleyişleri sadece anlamaya değil, aynı zamanda bu işleyişleri kontrol etmeye yönelik büyük bir geçişe imkân sağlamaya başlamıştır (Dymond, 2016). Bilindiği gibi, yirminci yüzyılda başta tıp alanındaki bilimsel ve teknolojik gelişmeler, biyoetiğin kurumsallaşmasında etkili olmuştur. Bu bağlamda sentetik biyolojinin içerdiği önemli bilgi ve uygulama potansiyeli bu alanı biyoetiğin önemli bir ilgi konusu haline getirmeye başlamıştır. Bu tez çalışmasında da bu ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.1. Sentetik Biyolojinin Tanımı ve Amacı

Sentetik biyoloji, moleküler biyoloji, biyofizik, biyokimya, tıp, biyomedikal mühendisliği, biyoteknoloji, biyoinformatik, sistem biyolojisi gibi biyolojinin alanları ile mühendislik, fizik, kimya, matematik, bilgisayar bilimleri, elektrik mühendisliği, mekanik mühendisliği gibi disiplinlerin bilgilerini birleştiren (Cheng ve Lu, 2012; Keshava ve ark., 2018; Lam ve ark., 2009 ve McDaniel ve Weiss, 2005) bir bilim dalı olarak canlı ve cansız materyalleri kullanıp organizmaları

veya organizma parçalarını üretme olasılığını incelerken; mühendisliğin bir dalı olarak da söz konusu bu materyaller ile organizma ve organizma parçalarını üretmeye çalışmaktadır (Häyry, 2017). Disiplin çeşitliliğinin, alanda çok çeşitli yaklaşım, bakış açısı ve hedeflerin ortaya çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir (Cheng ve Lu, 2012).

Gelişmekte olan birçok bilimsel alanda olduğu gibi, sentetik biyoloji için de evrensel olarak kabul edilmiş bir tanım bulunmamaktadır. Sentetik biyoloji, ilgili disiplinlere ve yaklaşımlara göre farklı şekillerde tanımlanabilmektedir:

- Sentetik biyolojik sistemler tasarlama ve inşa etme yeteneği, biyologlar için mevcut doğal biyolojik sistemleri anlamada doğrudan ve zorlayıcı bir yöntem sunar. Beklenen ve gözlemlenen sistem davranışı arasındaki uyumsuzluk, bilimin yapılması ile ilgili değeri vurgulamaya hizmet edebilir. Kimyagerler için biyoloji kimyadır ve dolayısıyla sentetik biyoloji, sentetik kimyanın bir uzantısıdır; yeni moleküller ve moleküler sistemler yaratma yeteneği, teşhis yöntemlerinin ve ilaçların geliştirilmesine, genetik olarak kodlanmış fonksiyonların geliştirilmesine, yaşamın kökenlerinin araştırılmasına vb. izin verir. Yeniden yazanlar (*rewriters*) için, sentetik biyoloji, doğal biyolojik sistemleri kodlayan genomların yeniden yazılabileceği hipotezini test etmek için bir fırsat sunar ve bazı doğal biyolojik sistemleri yararlı bir şekilde değiştirebilecek mühendislik ürünleri üretir. Mühendisler için biyoloji bir teknolojidir ve genetik mühendisliğindeki geçmiş çalışmalara dayanan sentetik biyoloji, biyolojik sistemlerin tasarımını ve inşasını kolaylaştıran temel teknolojilerin geliştirilmesine vurgu yaparak biyoteknoloji uygulamalarını birleştirmeyi amaçlamaktadır (Endy, 2005).
- Sentetik biyoloji standardizasyon, bağlaşımı kesme (*decoupling*) ve soyutlama gibi çeşitli mühendislik ilkelerinin uygulanmasıyla yaşamın bir görünümünü temsil etmektedir (Andrianantoandro ve ark., 2006).
- Sentetik biyoloji biyolojik temelli parçalar, yeni cihazlar ve sistemler tasarlama ve düzenlemenin yanı sıra mevcut, doğal biyolojik sistemleri yeniden tasarlamayı amaçlar (Royal Academy of Engineering, 2009).

- Sentetik biyoloji mühendislikte kullanılan ilkeleri biyolojinin pratiğine uygulamak ve açık olarak belirlenen insan amaçları için doğada bulunmayan biyolojik sistemlerin geliştirilmesini mümkün kılmayı amaçlayan bir alandır (Kaebnick ve ark., 2009).
- Sentetik biyoloji biyoloji, mühendislik, genetik, kimya ve bilgisayar bilimi unsurlarını birleştiren, gelişmekte olan bir araştırma alanına verilen addır.
- Sentetik biyoloji, kimyasal olarak sentezlenmiş DNA'ya dayanan ve insan ihtiyaçlarını karşılamak için standart ve otomatikleştirilebilir süreçlerle yeni veya gelişmiş özelliklere sahip yeni organizmaların yaratılmasını içeren bilimsel bir disiplindir (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010).
- Sentetik biyoloji yeni biyolojik sistemlerin ve araçların [yeniden] tasarımı ve düzenlenmesi amacıyla mühendislik ilkelerinin uygulanmasıdır (Biller-Andorno ve ark., 2013).
- Sentetik biyoloji yeni ve daha gelişmiş özelliklere sahip organizmalar elde etmek için kimyasal olarak DNA sentezlemek amacıyla biyoloji, mühendislik ve ilgili disiplinlerin bilgisini ve yöntemini birleştirmeyi amaçlayan, gelişmekte olan bir araştırma alanıdır (Gutmann, 2011).
- Sentetik biyoloji biyomühendislik, sentetik genomik, protohücre (*protocell*) ve doğal olmayan moleküler biyoloji araştırmaları gibi bir dizi araştırma programı içeren çok yönlü bir alandır (Holm, 2012a).
- Sentetik biyoloji (a) yeni biyolojik parçaların, araçların ve sistemlerin tasarımı ve kurgulanması, (b) var olan doğal biyolojik sistemlerin yararlı amaçlar için yeniden tasarlanmasıdır (The Synthetic Biology Project, 2015).
- Her iki disiplin de hücre içi moleküler yapıları yeniden düzenlemeyi amaçladığından, sentetik biyoloji, genetik mühendisliğinin daha gelişmiş bir ardılıdır. Bununla beraber, genetik mühendisliği mevcut organizmaların genomuna odaklanırken; sentetik biyoloji daha geniş ölçekte genom düzenlemesine (uzun DNA dizileri, metabolik ve sinyal yolak tasarımları, doğal DNA'nın kimyasını değiştirmek gibi) olanak sağlamaktadır (Boldt, 2013a).

- Doğada bulunmayan biyolojik sistemleri tasarlamayı amaçlayan sentetik biyoloji, yaşam süreçlerinin daha iyi anlaşılması için mühendislik ilkelerinin kullanılması ve mevcut ilkelerin yeniden düzenlenmesidir (SCENIHR, SCCS ve SCHER, 2014).

Sentetik, yani insan yapımı terimi, öncelikle “doğal” olan ile karşıt gibi anlaşılmalı birlikte, terim iki ya da daha fazla biyolojik parçanın tasarım yoluyla ya da “doğal süreçlerle” kombine edilmesi anlamında kullanılmaktadır. Sentetik biyoloji, en genel tanımıyla, mühendislik ilkeleri kullanılarak biyolojik araçların ve sistemlerin tasarımı ve oluşturulmasıdır. Bu tanım, modern biyoteknoloji tanımına benzemekle birlikte, tasarım, oluşturma ya da inşa etme, araç ve sistem gibi sentetik biyolojiye ait terimler ile iki alan birbirinden ayrılmaktadır. Bu bağlamda sentetik biyoloji ile moleküler biyoloji ve mühendislik uygulamalarının biyoteknolojiye nazaran daha uygulanabilir olması beklenmektedir (Porcar ve Peretó, 2014a). Biyoteknoloji yeni ürünlerin tasarımında ve üretiminde kontrollü biyolojik devrelerin kullanımına odaklanırken; sentetik biyoloji temel biyolojik sorunları anlamak için yapay biyolojik devrelerin kullanımı anlamında yeni fırsatlar sunar (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2014).

Geleneksel anlamda biyoloji, canlıların doğal süreçlerde nasıl işlediğini ve geliştiğini anlamakla ilgili iken; kullanılan tekniklerden bağımsız olarak, sentetik biyoloji, tasarlanmış yeni yaşam sistemlerinin oluşturulmasına odaklanmaktadır. Bu bağlamda sentetik biyolojinin kapsamı, mevcut organizmaların yeni özellikler kazanması amacıyla yapılan modifikasyonlardan, canlı olmayan bileşenlerden canlı bir organizmanın yaratılmasına kadar değişmektedir (Davies, 2018a).

1.2. Sentetik Biyolojinin Tarihsel Gelişimi

Yirminci yüzyılda biyoloji biliminin kapsamı moleküler biyolojiden ekolojiye kadar çok geniş alanları kapsasa da bu bilimin temelleri bir önceki yüzyıla

uzanmaktadır. Gregor Mendel'in kalıtım kuramı, Louis Pasteur ve Eduard Buchner'in deneyleri, Charles Darwin tarafından 1800'lerde ortaya atılan evrim kuramı ve termodinamiğin canlı maddenin temel sorunlarının nihayet incelenebilir olduğu inancı on dokuzuncu yüzyılda öne sürülmüştür (Tumey, 1995).

On dokuzuncu yüzyıl aynı zamanda canlı varlıklara materyalist bakış açısıyla yaklaşılacak bir dönemdir. Bu dönemden itibaren yaşam, fizik ve kimya yasalarına dayanmayan ve bilimsel yöntemin sınırlarını aşan doğaüstü açıklamalardan yavaş yavaş uzaklaşmıştır. On dokuzuncu yüzyılın sonları ve yirminci yüzyılın başlarında, yaşamın yalnızca maddi açıklamasının olabileceği ve yaşamın ancak laboratuvar ortamında yaratılması mümkün olursa anlaşılabilirliğine inanılmıştır (Porcar ve Peretó, 2014b). Bilimin temel amacının organizmaların kontrolü olması gerektiği savunulmuş; yaşamın tanımı tüm fenomenlerin manipülasyonu, dönüştürülmesi ve yaratılması olarak düşünülmüştür. Bilimin ontolojik ve epistemolojik yönleri bu dönemde tekniğe tabi tutulmuştur (Pauly, 1987). Bu dönemde sentetik biyoloji, canlıları tamamen fiziksel ve kimyasal maddelerden oluşturulması düşüncesi etrafında tanımlanmıştır.

Yaşama sentetik ve mühendislik temelli bir yaklaşımın hem biyolojik bilginin nihai bir kaynağı olarak kullanılabileceği hem de bu bilginin doğrudan insan amaçlarına ve yararına uygulanabileceği düşüncesi, yirminci yüzyılda tekrar eden bir tema olmuştur. Sentetik biyolojiye geniş bir anlamda yaklaşıldığında yirminci yüzyılda bugünün öncüsü sayılabilecek çok sayıda örnekle karşılaşmaktadır (Campos, 2009).

Organik bir bileşiğin yapay sentezinin bilinen en eski kaydı 1828 yılında Friedrich Wöhler tarafından inorganik öncüler olan siyanik asit ve amonyaktan organik bir bileşik olan ürenin sentezlenmesidir (Davies, 2018a ve Lam ve ark., 2009).

Biyoloji ve mühendisliği özdeşleştiren Jacques Loeb (1859-1924), biyolojide mekanik anlayışın ve deneysel çabanın en iyi örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Pauly, 1987; Peretó, 2016 ve Porcar ve Peretó, 2014b). Laboratuvarın doğaya karşı bakış açısını değiştireceğini söyleyen Loeb, kıtlık sorunu ile başa çıkılmasını ve Darwinci evrim kuramını deneysel olarak gösterilmesini sağlayacağını savunmuştur. Loeb'e göre fizyolojinin en önemli görevi, yapay olarak canlı madde üretilip üretilmeyeceğidir (Porcar ve Peretó, 2014b).

Loeb, yaşam üzerinde tam fizyolojik ve gelişimsel kontrole sahip olmakla, istenildiği zaman ve gerektiği gibi yeni formlar geliştirmekle ilgilenmiştir (Campos, 2009). 1890-1915 yılları arasında biyoloji alanında mühendislik bakış açısının en önemli savunucu olmuştur. Biyolojik fenomenleri kontrol etmeye olan ilgisi, en önemlisi 1899 yılında yapay partenogenez olmak üzere, araştırmalarında büyük ilerlemeler sağlamıştır (Campos, 2009 ve Pauly, 1987). Loeb'e göre biyolojinin temel sorunu var olanın analizi değil, yeninin üretimidir. Bu nedenle partenogenetik gelişimin yapay olarak başlatılması biyologlar için olası bir görev haline gelmelidir (Pauly, 1987).

Loeb, 1906 yılındaki çalışmasında (*The Dynamics of Living Matter [Canlı Maddenin Dinamikleri]*) yaşamın yapay sentezini (yapay abiyogenez) biyolojinin amacı olarak düşünmüş ve kendiliğinden oluşumu reddetmiştir. Loeb'e göre yaşamın sentezlenme amacı sadece organizmada yer alan maddeleri (almünoidler, kolloidler vb.) elde etmek değil; bu maddelerin yaşama benzer özelliklere sahip (kendini koruma, büyüme ve üreme) bir karışımı sağlamaktır (Loeb 1906; Peretó ve Catala, 2007 ve Porcar ve Peretó, 2014b). 1912 tarihli *The Mechanistic Conception of Life* (Mekanistik Yaşam Anlayışı) adlı çalışmasında yaşamı katı bir fizikokimyasal bakış açısıyla inceleyen Loeb'e göre ya canlı maddenin yapay olarak üretilmesi başarılmalı ya da bunun neden imkânsız olduğu bulunmalıdır (Campos, 2009; Keller, 2003; Loeb, 1912; Peretó, 2016 ve Porcar ve Peretó, 2014b).

1920’lerde proteinlerin makromoleküler doğası ve fizikokimyasal davranışları tanımlanmaya başlamıştır. Yirminci yüzyılın başlarında, küçük moleküllerden oluşan kolloidal hâl, kimya ve biyoloji arasındaki boşluğu kapatmak için önerilmiştir. Bununla beraber, fizik alandaki yeni teknikler biyolojik moleküllerin boyutunu ölçmeyi ve proteinleri kristalleştirmeyi mümkün kılarken, X-ışını kırınımına dayalı yapısal yöntemler de kolloidlere uyması mümkün olmayan makromoleküllerin görüntülerini ortaya çıkarmıştır. Biyolojik makromoleküllerin kimyası hakkındaki keşifler, yaşamın özünü kimyasal bileşiminden ziyade formunda aramaktan ve yaşamı cansız maddelerin kristalleşmesi olarak düşünmekten uzaklaştırmaya da katkıda bulunmuştur (Porcar ve Peretó, 2014b).

On dokuzuncu yüzyılın sonları ve yirminci yüzyılın başlarında sentetik biyolojinin tanımı, canlıların tamamen fiziksel ve kimyasal maddelerden yapılması düşüncesine dayanmıştır (Peretó ve Catala, 2007 ve Porcar ve Peretó, 2014b). Dönemin öne çıkan isimleri Stéphane Leduc (1853-1939) ve Alfonso L. Herrera (1868-1942) olmuştur.

Herrera, 1904 yılında yayımladığı *Nociones de Biologia* adlı kitabında “plazmojeni” adını verdiği ve protoplazmanın kökenini inceleyen yeni bir bilim tanımlamıştır. Bu bilimin ana düşüncesi, yaşamın fizikokimyasal olayların sonucunda meydana gelmesidir. Aynı zamanda protoplazmanın fiziksel özelliklerinin organik ve inorganik bileşiklerle simüle edilebileceğini ve bu nedenle plazmojeninin deneysel bir bilim olduğunu savunmuştur (Cleaves ve ark., 2014 ve Negrón-Mendoza, 1995).

Stéphane Leduc yirminci yüzyılın başında biyolojik organizasyonlar ile ilgili düşüncelerini döneminde aslen var olmayan biyofizik bağlamında geliştirmiştir (Clément, 2015). *Cytogenese experimentale* (1901) adlı eserinde hücrelerin nasıl sentezleneceğini açıklamış; bu yapay hücrelerin hem form hem de temel işlevler açısından canlı hücrelerle aynı olduğunu ve evrim kapasitesi gösterdiği sonucuna varmıştır (Peretó, 2016).

Leduc, 1910-1921 yılları arasında üç kitaptan oluşan serisinde (*Théorie Physico-chimique de la Vie et Générations Spontanées* (1910), *La biologie synthétique* (1912), *L'énergétique de la vie. Etudes de Biophysique* (1921)) fiziksel yaşam kuramını ayrıntılarıyla açıklamıştır (Clément, 2015). Bu serinin ikinci cildi olan ve 1912 yılında yayımlanan *La biologie synthétique* adlı eseri, sentetik biyoloji teriminin bilimsel bir çalışmada ilk kez kullanıldığı eser olarak kabul edilmektedir (Campos, 2009; Peretó, 2016 ve Peretó ve Catala, 2007). *La biologie synthétique*, tüm biyolojik fenomenlerin fiziksel güçler (özellikle de ozmotik güçler) tarafından yeniden üretilmesiyle hayatı anlamaya yönelik ampirik çabanın sonucunu içermekte ve canlı ve cansız madde arasındaki sürekliliği adım adım göstermektedir. Leduc'e göre ozmotik basınç, organik formlar oluşturmak için gereken tek fiziksel güçtür (Peretó, 2016).

Leduc'un çalışmasının kuramsal yönü, yaşamın fiziksel doğasının epistemolojisi ve yaşam fenomeninin incelenmesi iken, deneysel yönü biyobenzetim ile ilgili deneylerden oluşmaktadır. Bu bağlamda sentetik biyolojiyi, canlı sistemlere dikkat çekici bir şekilde benzeyen formların ozmoz ve difüzyon yoluyla sentezi olarak tanımlamıştır. Bu tür fiziksel mekanizmalar Leduc'a göre hem embriyonun gelişimi sırasındaki organizasyonu (morfogenez) hem de yaşamın ortaya çıkışı (biyogenez) için yararlı adaylardır (Clément, 2015).

Organik büyüme ve morfolojinin temel biyolojisini anlamak için deneysel yöntem olarak sentezi kullanan ilk kişilerden olan Leduc'un erken dönemdeki çalışmaları, günümüzün sentetik biyolojisinin birincil hedefi ile benzerlik gösterir. Leduc, biyolojinin ilerlemesinde sadece analizin değil, aynı zamanda sentezin de epistemik erdemlerine kesin olarak inanmıştır (Campos, 2009).

Erken dönemde sentetik biyologlar, analitik biyologları çalışmalarını destekleyen fiziksel mekanizmaları aramaya ikna etmek için biyobenzetim kullanmayı ummuşlardır. Aynı dönemde birbiri ile rekabet halinde olan iki yeni gelişme, farklı türden de olsa mekanizma vaadi sunmuştur. Bunlardan ilki yirminci

yüzyılın ilk on yılında kalıtsal genlerdeki mutasyonlar ile meyve sinekleri gibi organizmalardaki spesifik konjenital değişiklikler arasında ilişkiler kuran genetik; diğeri ise 1920'lerdeki embriyonik indüksiyonun keşfidir (Davies, 2018a).

Yirminci yüzyılda genetik ve moleküler biyolojinin ön plana çıkması, bu alanda çalışan biyologları yaşamı simüle eden ve yaşam yaratan gündemlerinden uzaklaştırmış olsa da tasarlanan yeni özelliklerin halihazırda var olan canlılara eklenmesi bağlamında sentetik biyolojide yeni bir alan açmıştır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısındaki moleküler biyoloji çağı ile genler kimyaya indirgenmiş ve moleküler düzeyde oldukça iyi bir şekilde anlaşılan nedensellik ilişkileri genleri proteinlere bağlamıştır. Biyolojinin mantığı, fizik denklemlerinde değil, moleküller veya hücreler gibi yapıları temsil eden isim zincirlerinde ve süreçleri temsil eden oklarda ifade edilmeye başlanmıştır (Davies, 2018a).

Moleküler devrim, modern anlamda sentetik biyolojinin gelişiminde hem düşünsel hem de pratik olarak etkili olmuştur. Düşünsel anlamda moleküler devrim, alanda çalışanlara yeni hücresel sistemler tasarlamak için hücrelerin içsel işleyişlerine dair mekanik bir anlayış sağlarken; pratik anlamda da bu yeni hücresel sistemler tıp, mühendislik ve kimya gibi farklı uygulama alanlarında kendisine yer bulmuştur (Davies, 2018a).

1950'lerde James Watson ve Francis Crick tarafından tüm canlı organizmalarda kalıtmadan sorumlu çift sarmal DNA molekülünün yapısının aydınlatılması; 1960'larda Werner Arber, Daniel Nathans ve Hamilton Smith tarafından restriksiyon enzimlerinin keşfi ve gen düzenlenmesinde matematiksel mantığın uygulanabileceği düşüncesi; 1970'lerde Paul Berg ve arkadaşlarının DNA rekombinant teknolojisinde restriksiyon enzimlerini uygulaması; 1980'lerde oligonükleotid sentezi teknolojisinin gelişimi ve spesifik in vitro amplifikasyonlar için PCR (polimeraz zincir reaksiyonu) tekniğinin geliştirilmesi gibi önemli atılımlar ile genetik mühendisliğinin konsolide edilmesi, yirminci yüzyılın ikinci yarısında

biyoteknolojide yeni bir dönemin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Acevedo-Rocha, 2016 ve Andrianantoandro ve ark., 2006).

Francois Jacob ve Jacques Monod'ın 1961 yılında yayımladıkları çalışmaları sentetik biyoloji tarihindeki önemli dönüm noktalarından birisidir. Jacob ve Monod bu çalışmalarında gen aktivitesinin kontrolü için gen düzenleyici unsurların özel sistemler üretmek üzere birleştirilebileceğini düşünmüştür (Cameron ve ark., 2014; Davies, 2018a ve Jacob ve Monod, 1961).

Sentetik biyoloji terimi 1970'lerde genetik mühendisliği ile yakın bir ilişki içinde olmuştur. Bu dönemde rekombinant DNA yöntemlerinin ortaya çıkışının önemini kavrayabilen nadir ancak yararlı bir terim olarak kullanılan sentetik biyoloji, 1970'lerin başlarında belirgin bir biçimde öjenik içeriğe sahip genetik mühendisliği yerine de tercih edilmiştir. 1970'lerin sonunda "sentetik" ifadesi yeni bir dönemi ifade etmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Campos, 2009).

Szybalski ve Skalka'a göre restriksiyon enzimleri üzerine yapılan çalışmalar, rekombinant DNA moleküllerinin oluşturulmasını ve tek tek genlerin analizini sağlamasının yanı sıra, mevcut genlerin tanımlanıp analiz edilmesine de izin verecektir. Bu dönemden önce biyoloji, analitik ve pozitif bir bilim iken, rekombinant DNA yöntemleri ile birlikte yeni DNA setlerinin oluşturulabildiği ve yeni gen düzenlemelerinin yapılabileceği sentetik bir bilim haline gelmiştir (Boldt, 2013b ve Szybalski ve Skalka, 1978).

Moleküler klonlama ve PCR'ın geliştirilmesinin ardından 1970'li ve 1980'li yıllardaki mikrobiyoloji araştırmalarında genetik manipülasyon yaygın hale gelmiş ve yapay gen düzenlemesi için bir yöntem olarak düşünülmüştür. Bununla beraber, bu dönemde genetik mühendisliği alanında yeni biyolojik sistemler oluşturmak için mikroorganizmalardaki düzenleyici davranışların çeşitliliğini ve derinliğini gösteren bilgi veya araçlar yeterli olmadığından, yapılan çalışmalar çoğunlukla klonlama ve rekombinant gen ifadesi ile sınırlı kalmıştır (Cameron ve ark., 2014).

1980’lerde Barbara Holm rekombinant DNA teknolojisini kullanarak genetik olarak tasarlanmış bakterileri tanımlamak amacıyla sentetik biyoloji terimini yeniden kullanmış ve onu “yapay yaşam formlarının sentezi” olarak tanımlanmıştır (Keshava ve ark., 2018). Terim, aynı zamanda bazı bilim insanları tarafından da biyomühendislik ile eşanlamlı kabul edilmiştir (Benner ve Sismour, 2005). 1990’lı yıllarda ise “sentetik moleküllerin tasarlanması” olarak tanımlanan sentetik biyoloji, özellikle Amerika Birleşik Devletleri’nde yaygın bir araştırma alanı haline gelmiş ve metabolik mühendislik alanı ortaya çıkmıştır (Acevedo-Rocha, 2016).

1990’ların ortalarında otomatik DNA dizilimi ve gelişmiş hesaplama araçları, mikrobiyal genomların tam olarak dizilenmesine; yüksek hacimli teknikler ise RNA, protein, lipid ve metabolitlerin ölçümünde kullanılarak hücresel bileşenleri ve bunların birbiri ile etkileşimlerini içeren katalogların oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Böylece geniş ve karmaşık olmasına rağmen hücresel ağlar, mühendislik ilkelerine benzer bir şekilde işlevsel modüller halinde organize edilmeye başlanmıştır (Cameron ve ark., 2014).

Doksanların sonunda ise farklı türlerden genomların dizilimi ile canlı kompleks sistemlerin genetik programları dijital olarak kabul edilmeye başlanmıştır. Bu dönemden itibaren biyoloji, büyük miktarlarda DNA dizileme verisini analiz etmede bilgisayarlara ve matematiğe daha fazla bağımlı hale gelmiştir. Bununla beraber modern anlamda sentetik biyoloji, 2000’li yıllara kadar mühendislik alanının değil; biyolojinin konu alanı içinde kalmıştır (Acevedo-Rocha, 2016). Mühendisliğin biyolojiye geçişi, canlı sistemlerde tasarım, modelleme, soyutlama ve devrelerin modülerliği gibi mühendislik ilkelerinin yararlı amaçlar için kullanılmasını sağlamıştır (Endy, 2005).

Modern anlamda sentetik biyolojinin yeniden yapılanması 2000’li yılların başı olarak kabul edilmektedir. Bu dönemden sonra mühendislik temelli bu yeni yaklaşımı genetik mühendisliğinden ayırma girişimleri söz konusu olmuştur (Campos, 2009). 2000 yılının ocak ayında belirli işlevleri yerine getirmek üzere

tasarlanmış; iyi bilinen DNA düzenleyici birimleri içeren ve basit matematiksel modellere dayanan genetik devrelerin (genetik osilatör ve genetik geçiş anahtarı) sentetik olarak elde edildiğine dair ilk raporları yayınlanmıştır (Elowitz ve Leibler, 2000 ve Gardner ve ark., 2000). Bu çalışmalar sentetik biyolojinin metabolizma dışındaki yönleriyle ilgili önemli dönüm noktaları yaratmıştır (Davies, 2018a; Wang ve Zhang, 2019 ve Zhang ve ark., 2011).

Collins ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karşılıklı olarak birbirini inhibe edici transkripsiyonel baskılayıcıların ifadesini yönlendiren promotörler içeren bir genetik geçiş anahtarı oluşturulmuştur (Gardner ve ark., 2000). Elowitz ve Leibler (2000) tarafından yapılan çalışmada ise sıralı baskılayıcı-destekleyici çiftlerinin üçlü negatif geri besleme döngüsünden oluşan bir osilatör devresi tasarlanmıştır.

Tutucu (*latch*) ve bastırıcı (*repressilator*) gibi sentetik sistemleri diğer osilatör ve mantık devresi hızla takip etmiş ve bu sistemler genetik mantığın bir hücrenin ortamına duyarlı olması için algılama sistemlerine bağlanmıştır (Davies, 2018a). Bu erken dönemde genel olarak devre mühendisliğine odaklanılsa da çalışmalar gen düzenleyici ağların ötesine de geçmeye başlamıştır. İlk hücre-hücre iletişim devreleri geliştirilmiş; ek olarak protein-protein etkileşim alanları ve iskele proteinleri kullanılarak *Saccharomyces cerevisiae*'da translasyon sonrası düzenlenmeyi yeniden yapılandırmaya yönelik girişimler de gösterilmiştir (Cameron ve ark., 2014).

2004-2007 yılları arasında biyolojik sistemlere elektronik ve makine mühendisliklerinin ilkelerinin uygulandığı pek çok araştırma projesi yürütülmüştür. 2008 yılından itibaren ise karmaşıklığı, sağlamlığı ve hassasiyeti daha da arttırılmış farklı genetik devreler geliştirilmiş; aynı zamanda hücrelerin birbiri ile etkileşimini ve organizmadaki metabolik faaliyetleri ölçmek amacıyla hesaplamalı matematik modelleri uygulanmaya başlanmıştır (Wang ve Zhang, 2019). Bunlardan biri, 2008 yılında Hasty ve arkadaşları tarafından geliştirilen sağlam ve kalıcı osilatör davranışı gösteren bir devrenin geliştirilmesidir (Stricker ve ark., 2008).

Bu dönemdeki en göze çarpan bilimsel başarı, *Artemisia annua* bitkisinden doğal olarak elde edilen ve yaygın olarak kullanılan bir sıtma ilacı olan artemisinin öncüllerinin ileri mühendislik ilkeleri kullanılarak terpenoid biyosentezi ile sentetik olarak üretilmesidir (Ro ve ark., 2006). Bu başarı hem kompleks poliketidlerin ve non-ribozomal peptitlerin rasyonel tasarımları üzerinde umut verici olmuş, hem de sentetik biyolojinin olası ticari uygulamaları için örnek oluşturmuştur (Cameron ve ark., 2014). Yarı sentetik artemisininin endüstriyel ölçekte 2013 yılında üretilmeye başlanması ile sentetik biyolojinin pratik ve geniş ölçekli uygulaması da gösterilmiştir (Paddon ve ark., 2013).

2009 yılında bir çift sentetik genetik devrenin oluşturulduğu bildirilmiştir (Friedland ve ark., 2009). Bu devrelerden biri, rekombinaz tabanlı DNA düzenlenmesi kullanılarak elde edilen hafıza aracıdır. Benzer yöntem daha sonra tam rekombinaz tabanlı mantık kapısı oluşturmak için kullanılmıştır (Bonnet ve ark., 2013 ve Siuti ve ark., 2013). Diğer çalışmada genetik bir kenar algılama devresini (*genetic edge-detection circuit*) programlamak için bakteriyel ışık algılama devresinin kapasitesi artırılmıştır (Tabor ve ark., 2009).

Sentetik biyolojinin 2000’li yılların ortalarından itibaren hem bilimsel alanda hem de popüler basındaki bilinirliği de artmaya başlamıştır. MIT’den Tom Knight, Drew Endy ve Randy Rettberg tarafından 2003 yılında kurulan ve hızla yaygınlaşan iGEM (International Genetically Engineered Machine; Uluslararası Genetik Üretimli Makine Hattı), üniversitelerde ve kamuoyunda bu alana ilginin artmasında önemli bir rol oynamıştır (Smolke, 2009). Alandaki uluslararası ilk toplantı (*Synthetic Biology 1.0*) 2004 yılında Amerika Birleşik Devletleri Massachusetts Institute of Technology (MIT)’de gerçekleştirilmiştir (Tucker ve Zilinskas, 2006). Toplantı, tanımlanabilir bir topluluk oluşturma ve biyolojik sistemlerin tasarımı, inşası ve karakterizasyonuna yönelik girişimleri teşvik etme amacıyla biyoloji, kimya, fizik, mühendislik ve bilgisayar bilimleri gibi çok farklı alanlardan araştırmacıları bir araya getirmiştir (Cameron ve ark., 2014).

Depolama ve birleştirme konularını ele alan alandaki ilk koleksiyon olan *Registry of Standard Biological Parts*, 2003 yılında MIT tarafından oluşturulmuştur. Koleksiyon ile standardize edilmiş genetik parçaların dijital olarak kataloglanması, fiziksel olarak depolanması ve bu parçalara açık erişim sağlanması amaçlanmaktadır (Cameron ve ark., 2014 ve Galdzicki ve ark., 2011).

2008 yılında J. Craig Venter Enstitüsü'ndeki (JCVI) bir grup bilim insanı bir bakterinin genomunu yapay olarak yeniden sentezlemiştir. Çalışmada, *Mycoplasma genitalium* bakterisine ait genomun bilgisi şablon olarak kullanılarak kimyasal ve biyolojik yöntemler ile doğru sırayla yeniden birleştirilmiştir (Gibson ve ark, 2008 ve Lachance ve ark., 2019). Bu çalışma ile sentetik biyoloji alanı da genom ölçeğinde çalışabilecek bir mühendislik disiplinine yönelmiştir (Lachance ve ark., 2019). Aynı ekip daha sonra 2010 yılında tamamen kimyasal olarak sentezlenmiş DNA'ya sahip ilk hücreyi (*Mycoplasma mycoides* JCVI- syn1.0) elde ettiğini duyurmuştur (Gibson ve ark, 2010). Her iki durumda da sentezlenen yapay genomda doğal genotipe sadık kalınmıştır (Lachance ve ark., 2019).

2016 yılında minimal bir genom tasarlamak ve bu genom tarafından kontrol edilen canlı bir hücre yaratmak amacıyla aşağıdan yukarıya (*bottom-up*) bir yaklaşım geliştirilmiştir (Hutchison ve ark., 2016). Bu yaklaşım ile bilinen herhangi bir hücrenin en küçük genomuna sahip *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn3.0'in üretilmesi amacıyla JCVI-syn1.0'deki genetik bilgi küçük parçalara ayrılmış ve laboratuvar koşullarında büyüeyebilen *M. mycoides* JCVI-syn3.0 geliştirilmiştir (Danchin ve Fang, 2016; Hutchison ve ark., 2016; Lachance ve ark., 2019; Lapointe ve Glass, 2022 ve Thornburg ve ark., 2022).

1.3. Sentetik Biyolojinin Temel Stratejileri

Sentetik biyolojinin ilk dalgasında, tanımlanmış işlevleri yerine getirmek amacıyla birbirine bağlanan iki ile on arasında iyi tanımlanmış gen gibi biyolojik parça içeren basit biyolojik modüllerin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Henüz bilinmeyen biyoloji bilgisinin üstesinden gelebilmek ve sentetik biyolojide kullanıcı tanımlı işlevlerin gerçekleşmesi için hem aşağıdan yukarıya hem de yukarıdan aşağıya tasarım yaklaşımlarını içeren yinelemeli bir tasarım döngüsü benimsenmiştir (Fritz ve ark., 2010). Her iki yaklaşım da öngörülebilirlik ve güvenilirlik ile belirli biyolojik işlevlerin mühendisliğin yapılıması bakımından ortak bir amaca sahiptir (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010).

Aşağıdan yukarıya yaklaşımda cansız bileşenlerden başlanarak canlı sistemler inşa edilmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım aynı zamanda tanımlanmış uyaranlara yanıt olarak belirli işlevleri açıp kapatmak için genetik olarak tasarlanmış devreler ve anahtarlar oluşturma çabalarını da içerir. Mevcut organizmalardan veya hücrelerden farklı işlevlere sahip tamamen yeni bir organizma veya materyal elde etmek kuramsal olarak bu yaklaşım ile mümkündür. Diğer durumlarda ise işlevleri bilinen parçalar yeni bir materyal veya organizmaya eklendiğinde farklı işlevlere sahip olabilir (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010).

Sentetik biyoloji bağlamında aşağıdan yukarıya yaklaşım genel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır: (1) tamamen sentetik DNA içeren yeni tasarlanmış sentetik mikroorganizmalar; (2) bir araya getirilen biyokimyasal reaksiyonların yaşamın işlevlerini yerine getirebildiği ve yapay hücreler gibi davranabildiği *in vitro* yaşam (Baldwin ve ark., 2016a).

“Sentetik sistemin arzu edilen işlevi nedir?” “Bu sistemi oluşturmak için hangi parçalar (promotör, ribozom bağlanma bölgeleri vb.) kullanılabilir?” “Parçalar mevcut mu ve ek bir özelliğe ihtiyaç var mı?” “Sentetik modülün öngörülen davranışı nedir?” soruları bu yaklaşımın temel sorularıdır (Fritz ve ark., 2010).

Bir diğerk yöntem olan yukarıdan aşağıya yaklaşım, 1970’li yıllardan itibaren kullanılmaktadır. Belirli bir işlevi gerçekleştirmek için bilinen biyolojik sistemler tasarlanmasıdır ve bu amaçla hücre içi metabolik ve sinyal yollarının tasarlanmasını içerebilir. Bu yaklaşımda konak hücreyi (şasi – chassis) ve mevcut durumda sahip olduğu kofaktörleri, metabolitleri, transkripsiyon yollarını ve diğerk bileşenlerini kullanabilme olanağına sahiptir. Bununla beraber, konak hücredeki endojen sistemler ile yeni eklenen sentetik sistemler arasındaki potansiyel karışma da söz konusu olabilir (Roberts ve ark., 2013).

Yukarıdan aşağıya yaklaşım, tasarlanmış alt sistem ile biyolojik bağlamı arasındaki potansiyel etkileşimlere (istenilen veya istenilmeyen) ve bu etkileşimlerden yararlanmak veya bunları telafi etmek amacıyla stratejilerin geliştirilmesine odaklanır (Fritz ve ark., 2010). Kolay erişilebilir ve ucuz DNA dizileme ve DNA sentez teknolojileri yukarıdan aşağıya yaklaşımının kullanımını kolaylaştırmıştır. Bu yaklaşımın yakın tarihli en önemli örneğı minimal genomun elde edilmesidir (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010).

“Tasarlanmış modül, tasarlanmış ağın işlevini karmaşıklştırabilecek daha geniş biyolojik bağlamdan (metabolik durum, hücre döngüsü ilerlemesi ve epigenetik modifikasyonlar vb.) nasıl ayrılabilir veya bunlardan nasıl yalıtılabilir?” “Sentetik bir denetleyiciyi kontrol edeceği içsel sisteme bağlamak için hangi etkileşimler gereklidir?” “Sentetik sistem mevcut biyolojik altyapıdan nasıl faydalanabilir?” bu yaklaşım ile ilgili temel sorulardır (Fritz ve ark., 2010).

Evrim süreciyle geliştirilen canlı sistemleri betimleyen karmaşıklık göz önüne alındığında, biyolojiyi mühendislik ilkeleri ile yapılabilir bir sisteme dönüştürme olasılığı zordur. Biyolojik bir tasarımı hem yukarıdan aşağıya hem de aşağıdan yukarıya modelleriyle ele almak, bu amaca ulaşmada yararlı bir çerçeve sunmaktadır. Biyolojik organizasyonun her ölçeğinde, bu yaklaşımlar hem yeni sistemlerin tasarımına ve analizine, hem de tasarlanmış biyolojik sistemlerin performansını

etkileyen temel mekanizmalara yönelik araştırmalara rehberlik etmektedir (Fritz ve ark., 2010).

1.4. Sentetik Biyolojinin Güncel ya da Olası Kullanım Alanları

Bira ve şarabın fermentasyonu için mikroorganizmaların kullanılmasında olduğu gibi, yararlı amaçlar için biyolojik teknolojilerin kullanılması, insanlığın ortaya çıkmasıyla paralellik göstermektedir. Günümüzde biyolojik teknolojiler, endüstrinin pek çok alanında uygulanmaktadır (Baldwin ve ark., 2016b).

Sentetik biyolojinin endüstri alanında kullanılmasının çeşitli avantajları bulunmaktadır. Sentetik biyolojik araçlar, belirli bir görev veya uygulama için tasarlanabilir; bu araçlar tasarlanmamış doğal sistemlere göre daha güvenilir ve kullanılmak istenen çalışmalar için daha optimize edilebilir özelliktedir. Bununla birlikte, birtakım alt parçaların (yeniden) kullanımının spesifik organizmaların üretimine oranla maliyeti azaltacağı düşünülmektedir. Hem girişi hem de çıkışı bulunan arayüzler, mevcut sistemlere entegre olacak şekilde tasarlanabilir. Bu sayede, biyolojik analizden ziyade geleneksel enstrümantasyona izin verebilir (Baldwin ve ark., 2016b).

Sentetik biyoloji, mühendislik ilkelerini biyolojiye uygulayarak, kataloglanmış ve standartlaştırılmış biyolojik bileşenleri sistematik ve rasyonel bir şekilde yeniden birleştirerek, öngörülebilir, kullanışlı ve yeni işlevlere sahip biyolojik cihaz, sistem ve organizma yaratma bilimi haline gelmiştir (Weber ve Fussenegger, 2012). Mühendisliğin diğeri disiplinleri gibi, sentetik biyolojinin de amaçlarından biri, herhangi bir girdi için istenen düzeyde çıktıyı tahmin etme ve üretme yeteneğidir. Biyolojik bileşenlerin modülerliğı, yüksek performanslı parçaların kullanımı ve bu parçaların işlevsel bir bütün olarak birleştirilmesiyle genetik kodun hesaplanmasına ve hem zamansal hem de mekânsal kontrol sağlayan yeni sistemler oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Tan ve ark., 2021).

Mevcut ve yakın dönem ticari ve endüstriyel uygulamalar ağırlıklı olarak ilaç, kimya (geniş çaplı ve saf kimyasal üretimi, spesifik kimyasal madde üretimi, plastik üretimi çalışmaları), çevre (çevre kirleticisi madde dedektörleri), tarım (gıda takviyeleri ve gıda dışı uygulamaları), ulusal güvenlik (biyolojik silah sensörleri çalışmaları), nanoteknoloji (moleküler anahtarlar, biyolojik nano makineler) ve enerji (hidrojen üreten mikroorganizmalar, dördüncü nesil biyoyakıtlar, yapay fotosentez çalışmaları) alanları ile ilgilidir. Bu alanlarda, yakıt, ilaç kimyasal madde, tatlandırıcı ve koku için ürün sentezleyen mikroorganizmaların yaratılması amaçlanmaktadır (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2014 ve The European Environment Agency, 2020).

Bu bağlamda, doğal olarak oluşan veya petrol bazlı moleküllere alternatif olmak üzere bakteriler (*Escherichia coli* gibi), mayalar ve mikroalgler tasarlanmıştır. Şimdiye kadar dikkate değer örnekler arasında sıtma tedavisinde kullanılan artemisinin, insulin gibi farmasötikler, algler tarafından üretilen biyoyakıtlar veya vanilin gibi tatlandırıcılar sentezleyen mayalar sayılabilir. Alandaki potansiyel diğer uygulamalar arasında antibiyotiklerin, bakteriyofajların ve biyomalzemelerin üretilmesi ve atık işleme ve suyun arıtılması yer almaktadır (The European Environment Agency, 2020). Kimya sektöründe sentetik biyoloji, özellikle biyolojik kaynaklı plastiklerin üretimi konusunda geniş bir araştırma alanına sahiptir (Chownk ve ark., 2019 ve Organisation for Economic Cooperation and Development, 2014 ve The European Environment Agency, 2020).

Sentetik biyoloji ve uygulamaları, sürdürülebilir kalkınma, açlığın önlenmesi, sağlık ve esenlik, eşitsizliğin azaltılması ve mal ve hizmetlere daha iyi erişim amaçları dahil olmak üzere küresel insani ihtiyaçların ele alınmasında önemli umutlar vadetmektedir. Son yıllardaki gelişmelerle birlikte sentetik biyoloji, biyoinformatik, canlı materyaller, elektronik arayüz oluşturma, terapötik genom düzenleme, çoklu teşhis ve hücresel kayıt, üçüncü ve dördüncü nesil biyoyakıtlar ve canlı biyoterapötikler dahil olmak üzere farklı uygulamalardaki teknolojilerde

devrim yaratma potansiyelini göstermiştir. Sentetik biyolojinin en bilinen ve en gelişmiş uygulaması, biyoyakıtlardan ve doğal bitkisel ürünlerden polimer öncüllerine ve biyo-ilham malzemelere kadar çeşitli uygulamalarda yüksek değerli ürünler üretebilmek için metabolizmayı değiştirebilme yeteneğidir (Brooks ve Alper, 2021).

Tıp alanında sıklıkla ortaya çıkan temel zorluklar, hedefe özgün ilaçlar, ilaç dozajlarında kesinlik, ilaç yan etkilerinin en aza indirilmesi, teşhis-tedavi zaman çizelgelerinin kısaltılması ve patojenlerin ilaca direncinden kaçınma ihtiyacıdır. Bu bağlamda sentetik biyoloji, algılama ve iletim mekanizmalarını birleştiren karmaşık, yüksek hassasiyetli kontrol araçlarının mühendisliğini mümkün hale getirmekte ve mevcut bu zorluklar için yeni çözüm önerileri sunmaktadır (Weber ve Fussenegger, 2012).

Sentetik biyoloji tıp alanında çeşitli şekillerde uygulanabilir. Bu uygulamalar başlıca, hastalık mekanizmalarını anlama (patojenlerin mekanizmalarını anlama ve immün sistem ile ilgili çalışmalar), hastalıkları önleme (aşılar ve vektör kontrolü), ilaçların geliştirilmesi (tasarlanan fajlar ile bakteriyel direncin kırılması ve tasarlanmış probiyotik bakteriler aracılığıyla patojen virülansının azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalar), kanser tedavisi ile ilgili çalışmalar (sentetik bakteriyel ve sentetik viral araçlar ile biyosensörlerin oluşturulması), farmakogenomi ve kişiselleştirilmiş tıp alanındaki çalışmalar, kan şekeri homeostazisinde optogenetik araçların üretimi, protez ağları ve yapay dölleme araçlarıdır (Baldwin ve ark., 2016b; Davies, 2018b; Khalil ve Collins, 2010; Organisation for Economic Cooperation and Development, 2014 ve Weber ve Fussenegger, 2012).

Sentez yoluyla analiz ilkesi, tek tek genlerin sentezini, birleşimini, karışımını ve değişimini basit fonksiyonel analizler ile birleştirerek, sentetik biyolojiye mekanik bir anlayış kazandırmaktadır. Bu bağlamda, 1918'de İspanyol gripine neden olan H1N1 virüsünün genomu sürekli don bölgesindeki korunmuş doku örneklerinden ekstrakte edilen genom parçalarının dizi bilgisi kullanılarak yeniden sentezlenmiştir

(Tumpey ve ark., 2005). Yeniden yapılandırılmış virüsün fonksiyonel analizi, patojenin virölans faktörlerinin anlaşılmasını sağlamıştır (Weber ve Fussenegger, 2012).

Tarım, balıkçılık ve ormancılık gibi birincil sektörler, genetik araştırmalardaki ilerlemelerden doğrudan yararlanmıştır. 1996-2003 yılları arasında dünya genelinde 110 ve 195 milyon tondan fazla soya ve mısır, genetik teknolojilerin olumlu sonuçlarına bağlı olarak üretilmiştir. Bu bağlamda, sentetik biyolojinin en büyük yararlanıcılarından birinin tarım endüstrisi olacağı ve atık yönetiminde ve bunları metan ve ekonomik açıdan önemli diğer ürünlere dönüştürmede etkili bir alan olacağı beklenmektedir. Bunun yanı sıra sentetik biyoloji, artan nüfusa karşılık gıda ve tarım ürünlerine yönelik talepleri karşılama, beslenme alışkanlıklarının değişmesi, dijital ve genetik teknolojiyle uyumlu endüstri yapısı, karbon kısıtlamaları, çevre ve hayvan refahının göz önünde bulundurulması, ilaç olarak gıdalar ve bunların etik olarak üretimine odaklanma ve küreselleşme ve iklim değişikliğine bağlı olarak değişen risk profilleri konularında da umutlar barındırmaktadır (Goold ve ark., 2018).

Sentetik biyolojinin iklim değişikliği, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi, temiz su temini ve kirliliğin azaltılması gibi çevresel sorunlar için de çözümler sunabileceği düşünülmektedir. Sentetik biyolojinin çevre ile ilgili potansiyel uygulama alanları; genetiği değiştirilmiş tohumlar aracılığıyla arazi kullanımının biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkisini azaltma; kalıcı kimyasalları ayrıştırabilen sentetik olarak tasarlanmış mikroorganizmalar yardımıyla kirlenmiş endüstriyel bölgelerin biyoremediasyonu; bitki ve hayvanlardan elde edilen ürünler yerine sentetik alternatiflerinin kullanımı; soyu tükenmiş türlerin restore edilmesi olasılığı da dahil, genetik çeşitliliğin restorasyonu veya korunması; risk altındaki türlerin korunması; sivrisinekleri sıtmaya neden olan patojenlere karşı dirençli hale getirmek gibi hastalık vektörlerinin kontrolü ve mikro kirleticilerin varlığını algılayan biyodedektörler aracılığıyla kirlilik tespiti gibi alanlardır (The European Environment Agency, 2020).

Dünya Ekonomik Forumu tarafından sentetik biyoloji, gelecekte dünya ekonomisi üzerinde büyük etkisi olması muhtemel bir alan olarak belirtilmiştir. İklim değişikliğinden pandemilere kadar değişen büyük ve küresel zorluklarla karşı karşıya olan ve hızla değişen bir dünyada, sentetik biyolojinin hızlı ve sürdürülebilir çözümler sunabilen süreçleri tasarlamak için araçlar sağlayabileceği düşünülmektedir (Vickers ve ark., 2021).

Sentetik biyoloji, endüstriye ve biyoteknoloji alanına önemli katkılar sağlamıştır. Alanın gelecekteki uygulamalar için oldukça büyük bir potansiyelinin olduğu, bunun yanı sıra kısa vadede de önemli ticari fırsatlarının ve uygulama alanlarının bulunduğu, buna bağlı olarak da alanın büyümeye devam edeceği öngörülmektedir. Küresel sentetik biyoloji pazarının 2021 yılında 9,5 milyar dolardan 2021-2026 dönemde %28,4'lük bir büyüme oranıyla 2016 yılına kadar 33,2 milyar dolara yükseleceği tahmin edilmektedir. Sentetik biyoloji özellikli ürünler içinse küresel pazarın 2021 yılında 4,7 milyar dolardan aynı dönemde %29,7'lik bir büyümeyle 2026 yılına kadar 17,2 milyar dolara ulaşacağı hesaplanmaktadır (BCC, 2022). Bu pazarın büyümesinin nedenleri arasında sentetik genlere ve sentetik hücrelere artan talep, sentetik biyolojinin geniş uygulama alanı, DNA sekanslama ve sentezleme maliyetinin düşmesi, Ar-Ge fonlarının ve sentetik biyolojideki girişimlerin artması sayılabilir (MarketsandMarkets, 2021).

1.5. Sentetik Biyolojinin Sosyal ve Etik Boyutu

Sentetik biyoloji basitçe biyolojik yapıların yeniden düzenlenmesi demek değildir. Etkilerinin bilimsel, sosyal ve ekonomik alanların çok ötesine geçeceği ve derin değişikliklere neden olabileceği düşünülebilir. Örneğin bilimsel alanda o zamana kadar bilinen taksonomik sistemler bile değişip dönüşebilir.

Sentetik biyoloji tarihi kavramsal olarak 1900'lü yılların başına kadar gitmekle birlikte, özellikle 2000'lerde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu bağlamda alanın

2000'lerin sonundan itibaren etik açısından da önemli bir gündem konusu olduğu söylenebilir. Özellikle *Mycoplasma mycoides*'in sentetik tasarımı, sentetik biyolojinin etik açıdan Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerin gündemine girmiş, konuya ilişkin toplantılar yapılmaya başlanmıştır (Kaebnick ve Murray, 2013).

Mycoplasma çalışması o döneme kadar kuramsal olarak düşünülenlerin gerçeğe dönüşebileceğini, tasarlanmış yeni bir yaşam formunun ya da hücrenin hem hayatta kalabildiğini, hem de çoğalabildiğini göstermiştir. Burada ilginç olan, sentetik olarak üretilen hücrenin aynı zamanda bu ilk üretimden sonra sentetik de olsa kendi geni tarafından kontrol ediliyor oluşudur. Yani sentetik de olsa bir hücre ortaya çıkmış ve yaşamaktadır. Bu bağlamda, yeni bir türün var edildiği de söylenebilir. Böyle bir bilimsel gelişmenin geleceğe yönelik olarak vadettikleri, iyi ya da kötü olması fark etmeksizin, etik bir değerlendirmenin ortaya çıkmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Sentetik biyoloji daha önce beklenmeyenlerin beklenebilir ya da olanaklı hale gelmesi ile etiği duyulan ihtiyacın son dönemdeki önemli örneklerinden biridir. Bir yandan araştırmalarda ne kadar sorumluluk alınacağı, ne kadar özgür olunabileceği; diğer yandan açık bilimin sınırları, bilimsel yayın ve çıktıların ne şekilde korunacağı, hükümetlerin kamu yararı ile ilgili takınacakları tutum ve özellikle endüstride neler yapılabileceği, yarar sağlama ve zarar vermeme ikileminde dengenin nasıl sağlanacağı gibi farklı bağlamlarda soruları ortaya çıkarmıştır. Biyoetiğin modern dönemde ilk ortaya çıkışı ve bunun teknoloji ile yakın ilişkisi düşünüldüğünde sentetik biyolojinin biyoetik alanında yeni bir dönüm noktasını oluşturması mümkündür (Kaebnick ve Murray, 2013).

Sentetik biyoloji uygulama açısından yeni bir endüstriyel devrim anlamı taşımaktadır ve aynı zamanda gıda ve enerji sorunlarından tıbbi sorunlara kadar pek çok alanda çözüme ilişkin yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, geleceğe yönelik bu olası yararları ile umut vadetmekte; özel merkezler kurulmakta ve hükümetler tarafından da desteklenmektedir (Balmer ve ark., 2016).

Olumlu beklentilere karşın yirminci yüzyılda bilimsel alanda görülen olumsuz deneyimlerin de etkisiyle risk ve tehlikeler ile ilgili kaygılar gündeme gelmektedir. Bu bağlamda 1940'lı yıllarda iyi niyetlerle ortaya çıkan atom fiziğinin zaman içinde yıkıcı bir silaha neden olması hatırlanmakta ve biyoterörizm gibi sorunlara dikkat çekilmektedir. Yine laboratuvarlar güvenliği ile ilgili endişeler, laboratuvarlardan çalınabilecek ya da istemeden de olsa doğaya salınabilecek organizmaların başta halk sağlığı olmak üzere, doğal yaşama zarar vereceğine ilişkin kaygılar da önemli tartışmalardandır (Kaebnick ve Murray, 2013).

Sentetik biyoloji ayrıca, pandemiyle mücadelede önemli ve etkin bir araç olarak konumlandırılmış ve sorumlu kullanım, veri güvenliği ve veri paylaşımı gibi konulara dikkat çekilmiştir. Bu sayede sentetik biyoloji sorunlarla mücadelede dinamik bir araç olarak da konumlanabilmektedir (Bruynseels, 2021).

Sentetik biyoloji uygulamalarının pratik sonuçlarından bağımsız, temel tartışma alanlarından biri de “bir hücre yaratmanın” anlamına ilişkindir. Bu bağlamda sentetik biyoloji, doğa ya da varlık üzerinde bir kontrol anlamına gelirken; aynı zamanda alanın bunu pratik olarak gerçekleştirme olasılığı da söz konusudur. Bu tartışmalarda insanın “Tanrı benzeri” bir edimi ya da “Tanrı’yı oynaması” gibi kavramlar öne çıkmaktadır (Kaebnick ve Murray, 2013).

Bir paradigma olarak gelişen teknolojiler ve sentetik biyoloji ile ilgili etik tartışmaların çok boyutlu olacağı düşünülebilir (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010). Gelişen teknolojiler ile sentetik biyolojinin hızla gelişmesi bu alanda artan bilginin de son derece hızlı bir şekilde artmasına neden olduğu gibi, aynı zamanda uygulama çeşitliliğini de arttırmaktadır. Tüm bu gelişmeler sadece bilim dünyasını değil, ekonomik ve sosyal yaşamı da etkilemektedir.

Etik, özellikle de biyoetik, yaşanan gelişmelere duyarsız kalamayacak bir alandır. Ancak alanın dinamizmi düşünüldüğünde kaçınılmaz olarak etiğin bu konulara yöneliminde bir boşluk ortaya çıkmaktadır. Uygulamalar ile etik arasındaki boşluklar kaçınılmaz olsa da bu boşlukların büyüklüğü genellikle istenmeyen sorunların ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Bu ise bilimsel disiplinlere ve araştırmalar ya da bunları yürütenlere yönelik bir güvensizliği beraberinde getirmektedir. Etiğin proaktif yaklaşımı ve boşluğun olabildiğince azaltılması önemsenen bir konudur (Askland, 2011).

Bu boşluğu gidermek, özellikle uygulamaya dönük kodların oluşturulmasının yanında konu ile ilgili etik farkındalığın artırılmasını içermektedir. Bu amaçla etik sorunlara ilişkin olarak bilim dünyasında ve toplumda farkındalık oluşturulması önemli önerilerden birisidir (Rappert, 2011).

Bu tez çalışması, etiğin sentetik biyoloji alanındaki görüntüsünün zaman içindeki izini sürmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmada temel olarak sentetik biyolojiye ilişkin kuramsal etik tartışmaların, sentetik biyolojinin gelişiminde görece daha hızlı ve yeni bir sürece denk gelen 2000’li yıllardan 2020 yılına kadar olan süreç sistematik bir biçimde analiz edilmiştir. Ülkemizde konuya ilişkin kapsamlı bir çalışma bulunmaması ve konunun pek çok açıdan gelecekte belirleyici etkisi olduğu düşünüldüğünde, literatüre kapsamlı bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada, hem tıp ve yaşam bilimleri alanından bilim insanlarına, hem de etikçilere sentetik biyoloji etiğine ilişkin kuramsal tartışmaların temel çerçevesinin sunularak tartışılması amaçlanmaktadır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Sentetik biyoloji, son yıllarda önemli bir bilimsel araştırma alanı olmasının yanı sıra, ekonomik olarak da önemli bir yatırım alanıdır. Bu bağlamda, alanın etik açısından dikkate değer ve geleceğe yönelik çalışma ve çıkarımları gerektirdiği sıkça vurgulanmaktadır (Nuffield Council on Bioethics, 2012).

Bu tez çalışması ile sentetik biyoloji alanındaki etik sorunların görünümü ve bunlar ile ilgili tartışmaların kapsamlı bir çerçevesinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın yöntemi olarak sistematik derleme; çalışmanın temel sorusu “*sentetik biyoloji alanına ilişkin temel etik tartışmalar ve bu etik tartışmaların içerikleri nelerdir?*” olarak belirlenmiştir.

2.1. Araştırmanın Yöntemi

Biyoetik alanında sistematik derleme gibi yöntemlerin kullanılmasının alanın gelişimi için önemli olduğu vurgulanmaktadır. Sistematik derleme yönteminin düzeltici etkisi olduğu kadar; yöntemin etik literatüre ilişkin yanlılıkları giderdiği, belli sorunlar ile ilgili tartışmaları, tarafları ve önemli argümanları göstermek bakımından politika yapıcılara, araştırmacılara ve sağlık çalışanlarına yol gösterdiği düşünülmektedir (Sofaer ve Strech, 2012). Aynı zamanda bilginin sınırlı olduğu, etik değerlendirme ve karar vermeyi gerektiren durumlarda da bu türden çalışmalardan yararlanılabileceği söylenebilir (McDougall, 2014).

Sistematik derleme, belirli bir müdahalenin etkililiğine ilişkin mevcut kanıtları bütüncül bir şekilde bir araya getirmek amacıyla özellikle tıp alanında kullanılan kanıt değeri yüksek standart bir yöntemdir (McDougall, 2014). Bu amaçla mevcut literatür önyargıları minimize edecek şekilde formel bir değerlendirmeye tabi tutulmaktadır (McDougall, 2014; Mertz, 2019).

Bu yöntem, genellikle sağlık bilimleri ve kanıta dayalı tıp çalışmalarında kullanılmakla birlikte, yöntemin tıp etiği veya biyoetik alanına da uyarlanabileceği belirtilmektedir (Mertz, 2019). Özellikle etik alanı düşünüldüğünde, bu yöntemin uygulanması veriyi bir araya getirmeyi, eleştirel bakışı, çalışma ile ilgili konuları sentezlemeyi de içeren bilişsel bir çaba gerektirmektedir (McCullough ve ark., 2007 ve Windle, 2010).

Sistemik derleme yalnızca araştırılan konu ile ilgili literatürün kapsamlı bir çerçevesini sunmakla kalmaz; aynı zamanda konuya ilişkin özgün, önemli ve eleştirel bir bakış geliştirilmesini de sağlayabilir (Boell ve Cecez-Kecmanovic, 2015). Bu bağlamda, özellikle biyoetik gibi alanlarda sistemik derlemelerin daima bir son söz olma özelliği taşıyabileceği, bunları geliştirmenin ve yeni literatürle birlikte değerlendirmenin olanaklı olduğu da dikkate alınmalıdır.

McCullough ve ark. (2007), etik bir soruya cevap aramak amacıyla normatif biyoetik literatürünü derlemeyi önermiştir. Bu yöntem ile bir kıyaslama olanağı ortaya çıktığı takdirde normatif olarak savunulabilir bir sonuca varılması amaçlanmaktadır. Bu söylem bir taraftan etik açıdan zorlama gibi görünse de, diğer taraftan uygulama açısından geçerlidir; alternatifler arasında bir seçim olanağının varlığı söz konusudur. Bu seçimlerin de etik açıdan bir sonucu bulunmaktadır.

McCullough ve ark. (2007), genellikle PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcomes; [Katılımcı, Girişim, Karşılaştırma, Çıktılar]) çerçevesi gibi aşırı yapılandırılmış yöntemler kullanmıştır. Bununla beraber, diğer çalışmalarda bu çerçevenin kullanılamayacağı sorular için de sistemik derleme olanağı gösterilmiştir. Biyoetikçiler arasında derlemelere ilişkin yönetsel olarak bir istek bulunmakla birlikte, biyomedikal çalışmalardaki kadar aşırı yapılandırılmaya karşı da bir çekince söz konusudur. Bunun nedeni, biyoetiğin klasik biyomedikal düşünceden farklı olan doğasıdır.

Söz konusu bu aşırı yapılandırılmış derleme önerilerine karşın özellikle Sofaer ve Strech (2012) tarafından “nedenlerin sistematik incelemesi” (*systematic review of reasons*) kavramı önerilmiştir. Buna göre, tamamlanmamış bir literatürün varlığında karar vericilerin yanlış yönlendirilme olasılığı ya da karşılıklı olarak uygun olmayan ancak bireysel olarak etik soruyu gerekçelendirme riski ortaya çıkabilir. Bu bağlamda temel olan, her bir yayındaki gerekçelendirme ya da akıl yürütmeyi (araştırma sorusunu içerecek bir gerekçelendirme ve onun kullanımını ve sonuçlarını içeren) iyi bir taksonomi oluşturarak tanımlamak ve analiz etmektir (Sofaer ve Strech, 2012).

Bu yöntemin en önemli noktalarından biri, akıl yürütme ya da gerekçelerin niteliğinin değerlendirilmesinin derleme sürecinin bir parçası olmamasıdır. Böyle bir derleme yöntemi, karar vericilere nasıl davranması gerektiği hakkında normatif bir bilgi vermez; ancak minimal yanlılık içeren ve oldukça kapsamlı bir başlangıç noktası ve bundan sonraki adımlar için güçlü bir gerekçe sunabilir. Buradaki en temel tehlike, karar vericilerin en sık yaptığı gerekçelendirme ile en güçlü gerekçe arasında kafa karışıklığı yaşanma olasılığıdır. Bu bağlamda Sofaer ve Strech (2012) öncelikle bu sorun ile ilgili olarak uyarı yapılmasını desteklemekte ve karar vericilere sistematik gerekçelendirme incelemesinin farklı bir versiyonunu yazmanın uygun olacağını öne sürmüştür. Bu tez çalışması da sentetik biyoloji alanına ilişkin bir çerçeve sunması ve önemli bir başlangıç noktası oluşturması olarak değerlendirilebilir.

Sistematik derleme yöntemiyle seçilen ölçütlere uyan yayınlar analiz sürecine dahil edilmiş ve sentetik biyoloji ile etik ilişkisi tümevarımsal olarak incelenmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan bulgulardan yola çıkılarak, alan ile ilgili temel etik sorunlar ve gelecekte ortaya çıkması muhtemel sorunlar ve bu sorunlara çözüm önerilerine yer verilmiştir.

Araştırmanın veri toplama aşaması protokollere bağlı olarak yürütülen, planlama, tarama, seçme ve değerlendirmeyi içeren bir literatür taramasını içermektedir. Sonraki aşamada ise analiz ve sentezleme süreci gerçekleştirilmiş ve sentetik biyoloji ve etik alanına ilişkin temel temalar ortaya konulmuştur. Tez izleme komitesinin etik alanındaki deneyim ve uzmanlıkları bu süreç açısından önemli olmuştur.

2.2. Araştırma Protokolü ve Derleme Süreci

Tez kapsamında sistematik derleme basamakları aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- 1- Planlama: Araştırmanın planlanması, sorun ve sorunun tanımlanması,
- 2- Kapsam taraması: Konunun tanımlanması, araştırma kapsamının belirlenmesi, kanıt türlerinin belirlenmesi, araştırma sorusuna son halinin verilmesi, veri tabanlarının ve anahtar kelimelerin belirlenmesi, dahil etme ve dışlama ölçütlerinin belirlenmesi, protokolün yazılması
- 3- Literatür taraması: Araştırma sorusuna ve dahil etme ve dışlama ölçütlerine uygun olarak belirlenen veri tabanlarının taranması
- 4- Başlık ve makale özeti tarama: Anahtar kelimeler doğrultusunda elde edilen makalelerin başlıklarının ve özetlerinin okunarak araştırma sorusu ile ilgili olanların alınması, tekrarlanan makalelerin elenmesi, tarama ve seçim aracının geliştirilmesi ve denenmesi, dahil etme ve dışlama ölçütlerine göre başlık ve özetlerin taranması
- 5- Makalelere erişim: Bir önceki (4.) basamakta ölçütlere uygun olarak seçilen makalelerin tam metnlerinin elde edilmesi
- 6- Tam metinlerin seçilmesi: Dahil etme ve dışlama ölçütlerine göre tam metinlerin seçilmesi (tarama ve seçim aracının yardımı ile)
- 7- Verin çıkarılması: Seçilen yayınlardan araştırma sorusu ile ilgili verilerin alınması

8- Analiz ve sentez: Verilerin seçilen analiz/sentez yöntemine uygun olarak analizi ve birleştirilmesi, derleme sonuçlarının sunumu

Araştırmanın kapsamı ve anahtar kelimeler belirlendikten sonra literatür taramasına geçilmiştir. Literatür taraması, Web of Science, Scopus, Philpapers ve MEDLINE Complete veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Alanın görece yeni olması ve geniş bir uygulama alanı bulunması nedeniyle anahtar kelimelerin kapsamı geniş tutulmuştur. Sentetik biyolojiye ilişkin anahtar kelimeler için 2012, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında bu konu ile ilgili yapılan farklı bibliyometrik çalışmalardan yararlanılmıştır (Hu ve Rousseau, 2015; Oldham ve ark., 2012; Raimbault ve ark., 2016 ve Shapira ve ark., 2017). Bu bağlamda anahtar kelimeler “*synthetic biology, synthetic genomics, synthetic genome, synthetic genomes, synthetic gene, ethic, ethics, ethical, bioethic, bioethics, bioethical*” olarak belirlenmiştir. Anahtar kelimeler ile veri tabanları için uygun arama planları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Veri tabanlarına göre arama planı

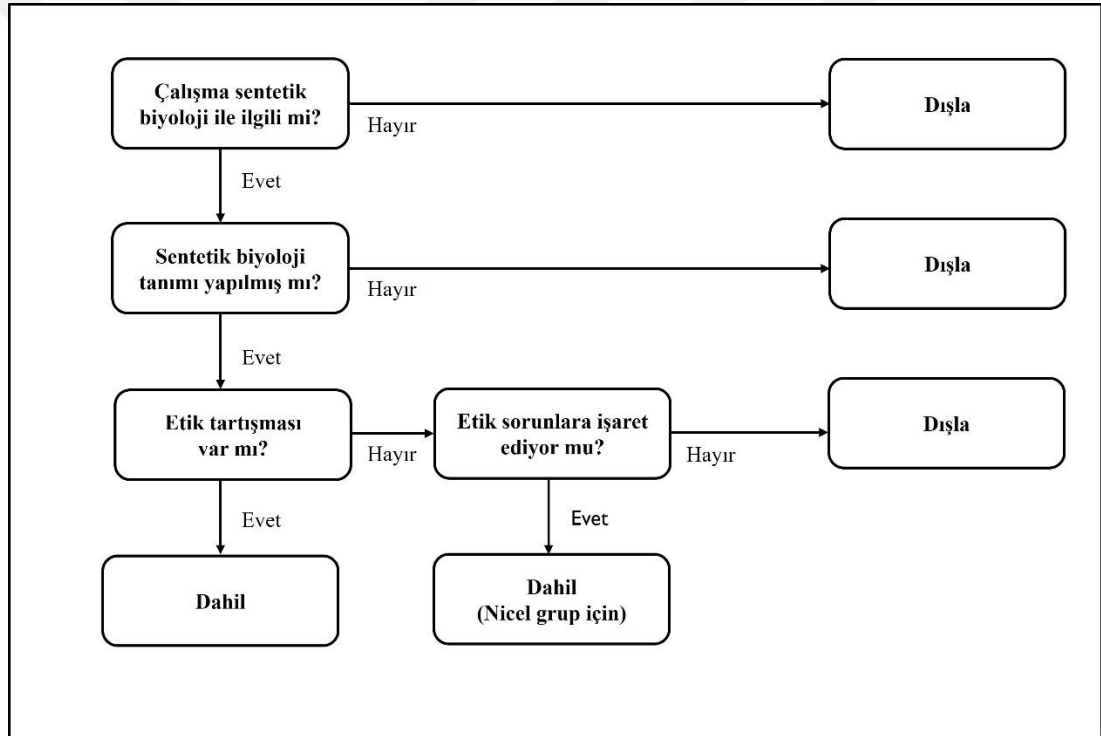
Veri tabanı	Arama Planı
Web of Science	TS=(synthetic biolog* OR synthetic gen*) AND (ethic* OR bioethic* OR moral*)
Scopus	TITLE-ABS-KEY(“synthetic biolog*” OR “synthetic gen*”) AND TITLE-ABS-KEY(ethic* OR bioethic* OR moral*)
MEDLINE Complete (EBSCO)	(synthetic biolog* OR synthetic gen*) AND (ethic* OR bioethic* OR moral*)
PhilPapers	(ethic* bioethic* moral*) (synthetic) (biolog*) <i>Fuzzy filter advanced</i>
TS= Topic; TITLE-ABS-KEY=Title, abstract, keywords	

Dahil Etme ve Dışlama Ölçütleri:

Çalışmaya 2020 yılının sonuna kadar hakemli dergilerde yayımlanmış kuramsal araştırma makaleleri ve derlemeler dahil edilmiştir. Yayınların başlangıç tarihleri için herhangi bir kısıtlama getirilmemiştir. Kitap, kitap bölümü, editoryal, yorum, perspektif, internet ve gazete haberleri gibi çok çeşitli yayın türleri

dışlanmıştır. Aynı zamanda ampirik çalışmalar dahil edilmemiştir. Taramada İngilizce dili kullanılmıştır.

Anahtar kelimesinde etik veya biyoetik terimleri bulunmasına rağmen, içeriğinde etik tartışması olmayan yayınlar ve sentetik biyolojinin tanımının yapılmadığı yayınlar çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu süreçte yayınların dahil edilip edilmemesine ilişkin araştırma sorusuna uygun olarak görece objektif bir değerlendirme yapılabilmesi amacıyla bir karar ağacı diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 2.1).

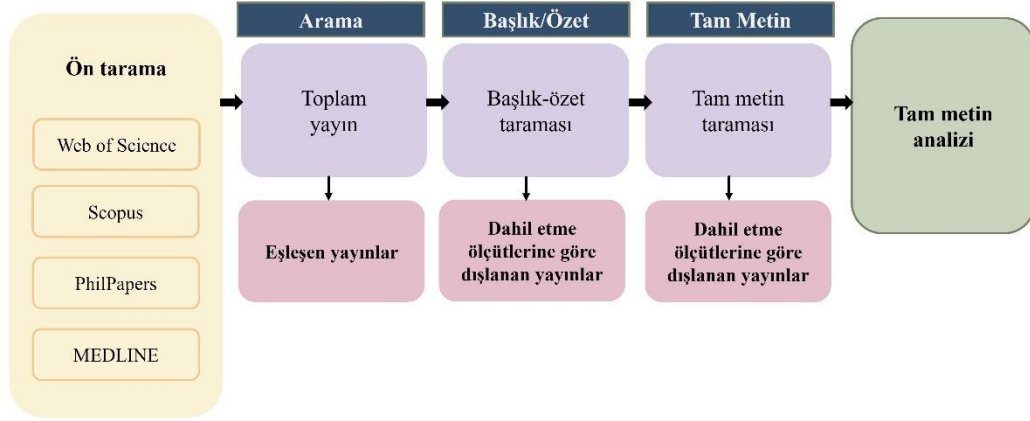


Şekil 2.1. Dahil etme karar diyagramı

Veri Tabanlarının Taranması, Yayınların Seçimi ve Analiz Süreci

Dört veri tabanında yapılan aramalar sonucunda elde edilen yayınlardan ilk aşamada mükerrer olanlar çıkarılmış; ardından başlık, özet ve basit tarama yapılmıştır (içerik ve anahtar kelimeler yönünden dahil etme ve dışlama ölçütleri göz önünde bulundurulmuştur). Daha sonraki aşamada ise tam metin okunmasına

geçilmiş ve analizi yapılacak yayınlar seçilmiştir. Yayın tanımlama sürecinin akış şeması Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yayın tanımlama süreci akış şeması

Yayınlardan elde edilen veriler, veri toplama formunda (EK-1) yer alan ilgili bölümlere eklenmiştir. Söz konusu formun içeriği:

- Yayının künyesi (başlık, yazar(lar), dergi adı, cilt, sayı, sayfa numarası)
- Yayının türü
- Yayının sentetik biyoloji ile ilişkisi
- Yayında sentetik biyoloji tanımı
- Yayında etik tartışmanın varlığı
- Yayında öne çıkan etik tartışma(lar)
- Yayında öne çıkan etik kavram(lar)
- Araştırmanın sonucu ve/veya önerileri

Tematik Analiz

Bu çalışmada, verilerin sunumunda tematik analizden yararlanılmıştır. Tematik analiz, sistematik derlemelerin analizinde ve verilerin sentezlenmesinde özellikle nitel yönelimli araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır. Bu bağlamda değerlendirilmeye alınan metinler bütünüyle okunarak kodlanmakta, daha sonra

tanımlayıcı temalara ulaşarak analitik temalar elde edilmektedir (Thomas ve Harden, 2008).

Tematik analizde tüm veri içindeki anlamlı kalıpları ortaya koyarak bir değerlendirme yapılması mümkündür. Bu yöntem ile araştırmacı, veriyi tanımlayıp yorumlayarak okuyucuya sunulabilir hale getirmektedir. Böylece okuyucu da büyük veriye dayalı araştırmaların anlaşılır ve önemli yanlarına aşina olabilmektedir (Morgan, 2018).

Nicel Analiz

Nicel analiz temelde tanımlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda sentetik biyoloji ve etik ile ilgili araştırmaların niceliksel olarak seyri ve temel özelliklerinin neler olduğu ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

2.3. Sınırlılıklar ve Güçlü Yanlar

Bu araştırma doktora tez çalışması kapsamında sürdürülmüştür; bu bağlamda bir zaman sınırına bağlı kalınmış ve sınırlı maddi kaynaklarla yürütülmüştür. Araştırma temelde İngilizce yayınlarla sınırlı olduğundan diğer dillerde yer alan önemli çalışmalar gözden kaçmış olabilir. Yine aynı şekilde terminolojik seçim oldukça geniş olsa da, alanın yeni ve terminoloji anlamında farklı kullanımları bulunabilir. Bununla beraber, ulaşılan yayınlarda sistematığe bağlı kalınarak olabildiğince dikkatli bir analiz süreci yürütülmüştür.

3. BULGULAR

3.1. Nicel Bulgular

İlk verilere göre, dört veri tabanından elde edilen toplam yayın sayısı 1453'tür. Dört veri tabanlarının her birinden elde edilen yayın sayısı (n) Çizelge 3.1'de; yıllara ve veri tabanlarına göre yayın sayıları ise Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Veri tabanlarına göre yayın sayısı

Web of Science	Scopus	PhilPapers	MEDLINE Complete
n=501	n=459	n=174	n=321

Çizelge 3.2. Yıllara ve veri tabanlarına göre yayın sayısı

	Web of Science	Scopus	PhilPapers	MEDLINE Complete	
1931			1		1
1964			1		1
1972			1		1
1984			1		1
1991	1				1
1992	1				1
1994	1				1
1995	3				3
1996			1	2	3
1997	1			1	2
1998	2		1	2	5
1999				1	1
2000	3			1	4
2002	2			1	3
2003	2		1	2	5
2004	5	2	1	2	10
2005	6	6	1	6	19
2006	5	4	1	4	14
2007	9	3	3	2	17
2008	3	7	6	5	21
2009	16	27	8	12	63
2010	16	25	5	13	59
2011	12	24	3	13	52
2012	34	50	25	19	128
2013	41	44	22	29	136
2014	31	44	16	30	121
2015	47	33	13	29	122
2016	56	41	17	27	141
2017	56	45	16	37	154
2018	49	44	9	34	136
2019	46	25	10	19	100
2020	52	34	11	30	127
	500	458	174	321	1453

24 Aralık 2020-16 Şubat 2021 ve 18-28 Nisan 2021 tarihleri arasında **Web of Science** veri tabanında yapılan tarama sonucunda, 1991-2020 yılları arasında toplam 500 yayın bulunmuştur.

Web of Science

Anahtar kelimeler

TS=(synthetic biolog* OR synthetic gen*) AND (ethic* OR bioethic* OR moral*)

Taranan zaman aralığı : 1991-2020

Bulunan yayın sayısı : 500

Yayın türleri

Article	292	Editorial	13
Book	2	Perspective	12
Book chapter	42	Proceeding paper	25
Book review	6	Review	57
Commentary	13	Diğer*	39

* Case report (1), Critical discussion note (2), Debate (2), Essay (1), Forum (1), Introduction (1), Letter/Letter to the editor (3), Meeting report (2), Meeting review (1), Meetings (1), News (3), Open forum (1), Opinion (2), Patent (1), Policy and politics (1), Protocol (4), Report (1), Response (2), Science and society (3), Scientific Contribution (2), Thesis (1), Viewpoint (2)

16 Şubat-5 Nisan 2021 ve 1-5 Mayıs 2021 tarihleri arasında **Scopus** veri tabanında yapılan tarama sonucunda 2004-2020 yılları arasını kapsayan toplam 460 yayın bulunmuştur.

Scopus

Anahtar kelimeler

TITLE-ABS-KEY("synthetic biolog*" OR "synthetic gen*") AND TITLE-ABS-KEY(ethic* OR bioethic* OR moral*)

Taranan zaman aralığı : 2004-2020

Bulunan yayın sayısı : 458

Yayın türleri

Article	198	News	18
Book	17	Perspective	14
Book chapter	61	Proceeding paper	8
Commentary	23	Review	30
Editorial	22	Diğer*	68

* Analysis (1), Book review (1), Correspondence (3), Critical discussion note (2), Debate (1), Erratum (1), Essay (4), Essay review (1), Features (1), Introduction (2), Letter/Letter to the editor (5), Meeting report (3), Meeting review (1), Meetings (1), Newspaper article (1), Note (2), Open forum (1), Open peer commentary (3), Opinion (7), Report (2), Response (1), Science and society (10), Science and culture (1), Scientific contribution (2), Scientific life (1), Short survey (1), Student voices (1), Thesis (2), Viewpoint (5)

PhilPapers veri tabanında 6-14 Nisan 2021 tarihleri arasında tarama yapılmıştır. Yapılan taramaya göre 174 yayın bulunmuştur. Bulunan en eski tarihli yayın 1931 tarihlidir.

PhilPapers

Anahtar kelimeler

(ethic* bioethic* moral*) (synthetic) (biolog*) *Fuzzy filter advanced*

Taranan zaman aralığı : 1931-2020

Bulunan yayın sayısı : 174

Yayın türleri

Article	101	Editorial	11
Book	11	Review	2
Book chapter	10	Diğer*	39

* Book review (5), Commentary (1), Correspondence (1), Critical discussion note (2), Debate (1), Dissertation (2), Draft (1), Erratum (2), Essay (1), Features (1), Focused discussion (1), Introduction (2), N/A (4), Open forum (1), Open peer commentary (5), Perspective (1), Proceedings paper (2), Response (1), Science and society (1), Scientific contribution (2), Student voices (2)

Son olarak 11 Mayıs-7 Haziran 2021 tarihleri arasında EBSCOHost üzerinden **MEDLINE Complete** veri tabanı taranmış ve 1996-2020 yılları arasında 322 yayın bulunmuştur.

MEDLINE Complete

Anahtar kelimeler

(synthetic biolog* OR synthetic gen*) AND (ethic* OR bioethic* OR moral*)

Taranan zaman aralığı : 1996-2020

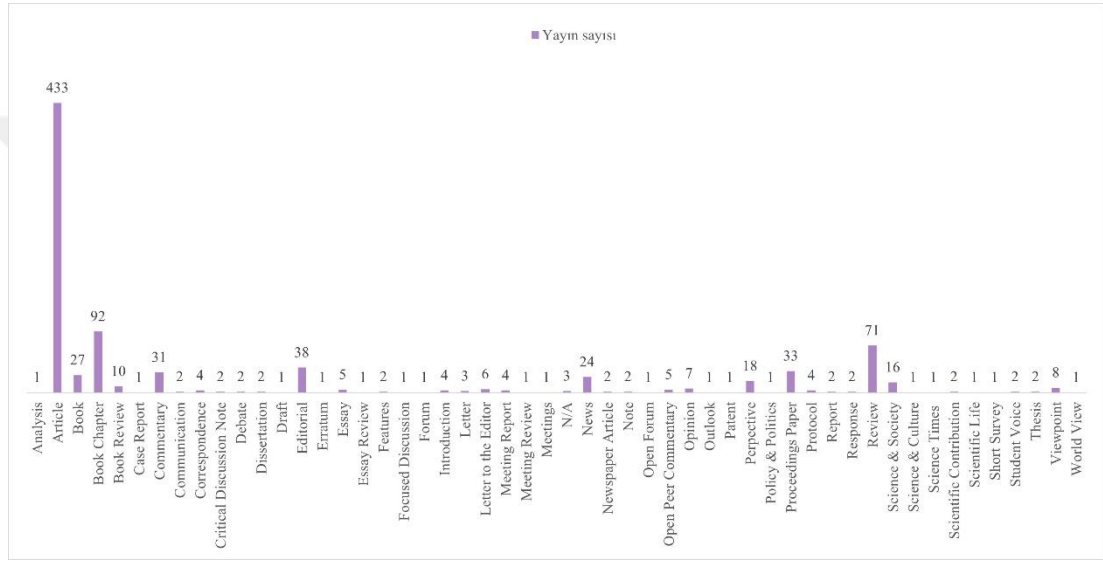
Bulunan yayın sayısı : 321

Yayın türleri

Article	172	News	21
Commentary	22	Review	28
Editorial	16	Diğer*	62

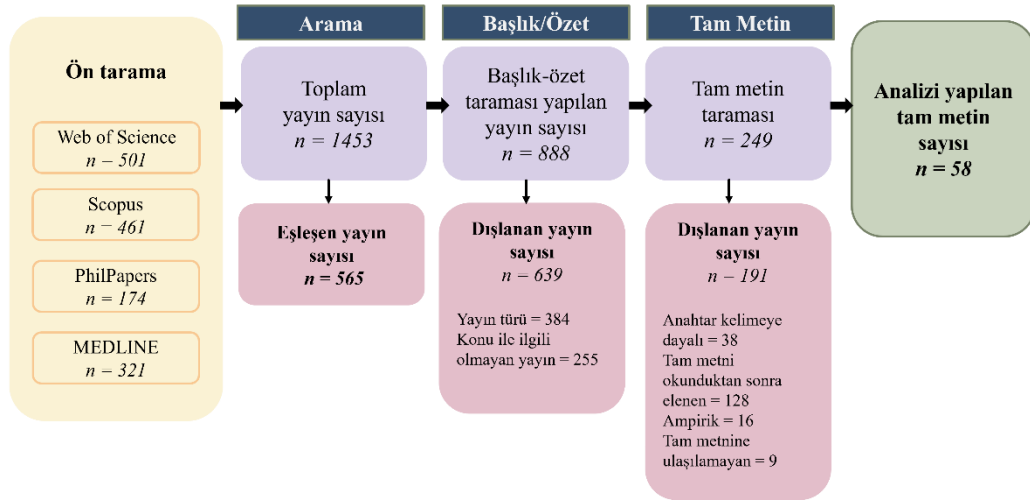
* Book review (2), Communication (2), Correspondence (2), Debate (1), Erratum (1), Essay (5), Essay Review (1), Introduction (1), Letter/Letter to the editor (6), Meeting report (3), Meeting review (1), Newspaper article (1), Opinion (5), Outlook (1), Perspective (7), Response (1), Science & Society (10), Science times (1), Scientific contribution (2), Scientific life (1), Thesis (1), Viewpoint (6), World view (1)

Dört veri tabanından elde edilen yayınlardan ilk aşamada mükerrer olanlar çıkarılmış ve yayın sayısı 888'e düşmüştür. Böylece geriye kalan 888 yayın, dahil etme ve dışlama ölçütlerine göre yayın türü, başlık ve özet taramasından geçirilmiştir. Yayın türü ölçütünü (hakemli makale ya da hakemli derleme) karşılamadığı için bu aşamada 384 yayın, 255 yayın ise araştırma konusu ile ilgili olmadığı için elenmiştir. Yayın türlerine göre yayın sayıları Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Yayın türlerine göre yayın sayıları

Daha önce belirlenen dahil etme ve hariç tutma ölçütleri ve karar ağacı diyagramı göz önünde bulundurularak tam metinlerin okunması (n=249) ve seçilen yayınların analizi yapılmıştır. Tam metinler okunurken yeniden anahtar kelime ve başlık elemesi gerçekleştirilmiş ve anahtar kelimesinde ve/veya başlığında “*synthetic biologi*” ve *ethic*/bioethic**” içermeyen yayınlar (n=38) hariç bırakılmıştır. Elde edilen veriler yayın tanımlama süreci akış şemasında (Şekil 3.2) sunulmuştur. Buna göre 249 yayının tam metin okumasından 191 tanesi ölçütlere uymadığı için elenmiş; 58 tanesi dahil edilmiştir.



Şekil 3.2. Yayın tanımlama süreci akış şeması

3.2. Tematik Analiz

Detaylı analizleri yapılan yayınlar, Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Bu bağlamda makalelerde ilk olarak sentetik biyoloji ile ilgili öne çıkan etik tartışmalar daha sonra ise varsa sonuç ve öneriler açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, araştırmacılar tarafından benzer ve anlamlı bir içerik oluşturacak şekilde tematize edilerek Çizelge 3.4'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Bhutkar (2005)	İndirgemeci yaklaşımda, genler canlı organizmaların temelidir ve bir dizi gene sahip sentetik bir yaşam formunun inşası, canlı bir organizma olarak kabul edilebilir. Bununla beraber, yaşamı bir dizi gen setinden ibaret sanmayıp, onun fiziksel olmayan yönleri olduğunu savunan daha teolojik görüşler de mevcuttur. Bu durum özellikle yüksek organizmalar için geçerlidir. Biyoteknolojik araştırmalarda etik tartışmalar memeliler veya daha yüksek organizmalar etkilendiğinde görünür hale gelir. Sentetik biyolojinin gelişmesiyle birlikte, fare gibi memeli türleri için de sentetik veya minimal genomlar tasavvur edilebilir. Bilim insanlarının bu düzeyde bir araştırma yapması etik açıdan uygun mudur? Bu araştırmaların topluma yararı nedir? Bu alandaki araştırmacıların etik ve ahlaki sorumlulukları nelerdir? Bir araştırmacının, kamu güvenliğini bozmayacak organizmalar üzerinde çalışmayı kısıtlamak gibi ahlaki bir sorumluluğu olmalı mı? Bu, pek çok bilinmeyen olduğu yeni bir alanda yapılabilir mi? Bir araştırmacı, insanlığa ya da çevreye zararlı sentetik organizmalar üretmede potansiyel olarak kullanılabilecek bulgularla ilgili bilgileri nasıl kontrol etmelidir?	Araçsal değer İçsel değer Meslek etiği	Sentetik biyoloji araştırmaları için bir dizi etik ilke önerilebilir: (1) Araçsal ve içsel değer açıkça ifade edilmesi: Sentetik biyoloji üretimleri, insanlık için araçsal değere sahip olacaktır. Bilim insanları ve etikçiler, ortaya çıkarılan ürünlerin sınıflandırması daha yüksek seviyelere çıktıkça (sentetik elementler → ağlar → organizmalar → sistemler) bu ürünlerinin sahip olabileceği her türlü içsel değeri de düşünmelidir. (2) Evrenin adım adım genişletilmesi: Gelişen teknolojinin bir parçası olarak, daha yüksek seviyelere çıkıldıkça, ek bilinmeyenlerin olduğu gerçeğinin farkında olunmalıdır. Araştırmacılar, sınıflandırmanın bir sonraki düzeyine (sentetik elementler → ağlar → organizmalar → sistemler) çıkarken, her bir sınıflandırma seviyesindeki bileşen parçaları iyi karakterize edilmeli ve bunların etkileri belirlenene kadar dikkatli olunmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Preston (2008)	Sentetik biyolojide modifikasyona uğrayan bir genom yoktur. Bilinen özelliklere sahip DNA dizilerinin (<i>biobricks</i>) kullanımı söz konusudur. Sentetik olarak tasarlanmış DNA dizilerinin tümü, var olan tek hücreli organizmalara yerleştirilmiştir. Buradaki temel düşünce, mevcut bakterilerin belirlenmiş özelliklerinin modifikasyonu değil; sahip olması istenilen özellikler ile yeni bir organizma yaratmaktır. Sentetik biyoloji ürünleri, evrimsel süreçte üretilmiş olan genomlardan herhangi bir genetik işlev ödünç almaz. Bunun aksine, belirli amaçlar göz önünde bulundurularak evrim sürecini ve mevcut genomları değiştirme fikri bulunur. Burada endişe verici olan, söz konusu yapaylığın, özellikle Darwinci evrim görüşünün temel ilkesi olan nesilden nesile modifikasyon yoluyla geçişten farklı olmasıdır. Sentetik biyologlar, <i>biobricks</i> dizilerinden <i>de novo</i> yeni bir genom inşa ettiklerinde, ortaya çıkan ürünün evrimsel geçmişle nedensel devamlılığı kopmuştur. Sentetik biyoloji ile doğal olarak seçilmiş atalardan gelen tüm soy izleri ortadan kaldırılır. Sentetik biyoloji ürünü, her ne kadar nükleik asit içeriyor olsa da yaratılan bu artefaktlar, genetik dizilimlerinin hiçbirini evrimsel süreçten almamıştır.	Yapaylık Evrimsel sürecin değişimi	-----

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Bedau et al. (2009)	Yukarıdan aşağıya yöntemde sosyal riskler, laboratuvar güvenliği, biyoterörizm ve çevre sorunları ile ilgilidir. Protohücreler ile ilgili etik, sosyal ve mevzuata ilişkin konuların çoğu yukarıdan aşağı yöntem ile benzerlik göstermekle birlikte, bazı durumlarda aralarında farklılıklar bulunur. Protohücre araştırmaları, özel bir laboratuvar güvenliği veya risk yönetimini gerektirmez. Protohücre gelişiminde etik, sosyal ve mevzuat ile ilişkili kontrol noktaları (KN) bulunmalıdır: <i>KN A:</i> Protohücre sentezindeki sistematik araştırmalarda etik, sosyal ve nihai düzenleyici etkilerin dikkate alınması sağlanmalıdır. <i>KN B:</i> Protohücrelerin teknik fizibilitesi, önemli bir sosyal ve etik kontrol noktasıdır; bu otonom hücreler yapmanın önündeki temel tüm bilimsel engellerin aşıldığının göstergesidir. <i>KN C:</i> Laboratuvarda ilk otonom tam protohücrelerin yaratılması, sınırlama, metabolizma ve programlanabilirlik özelliklerine sahip, kendi kendine birleşen ve kendi kendini yeniden üreten kimyasal bir sistemin yaratılmasıdır. <i>KN D:</i> Laboratuvar dışında hayatta kalabilen protohücreler insana ve çevreye zarar verme potansiyeline sahiptir. Dış ortamda hayatta kalma yeteneği, protohücreler için düzenleme ve sınırlama standartlarının yeniden değerlendirilmesini sağlamalıdır. <i>KN E:</i> Laboratuvar dışında protohücreleri serbest bırakmak, bu hücrelerin insanlar da dahil, diğer yaşam formlarıyla doğrudan temas halinde olacağından, özel bir sosyal öneme sahiptir. <i>KN F:</i> Toksik veya bulaşıcı protohücreler uygun güvenlik düzenlemelerine duyulan ihtiyacı teşvik edecektir. Protohücrelerin tıbbi veya çevresel uygulamalar nedeniyle laboratuvar dışında kullanımı, böyle bir riski daha da artıracaktır.	Protohücre	Bilimsel başarılar, topluma açık ve hızlı bir şekilde açıklanmalıdır. Protohücrelerle ilgili sosyal, kültürel, dini endişelerle ilgili konular kamuoyu ile tartışılmalıdır. Protohücrelerin sosyal, etik ve hukuki yönlerini değerlendirmek amacıyla, araştırma fonlarının bir bölümü bu konulara ayrılmalıdır. Protohücre araştırmalarının yararları, riskleri, belirsizlikleri ve en iyi uygulamalar hakkındaki eğitimler, üniversitelerde müfredatının düzenli bir parçası olmalıdır. Teknik olarak erişime açıldığında, fikri mülkiyet düzenlemeleri, bu hücrelerin ayırt edici özellikleri ile uygun olup olmadığına göre yeniden değerlendirilmelidir. Protohücrelerin kötü niyetli kullanımının olasılıkları değerlendirilmelidir. Tam otonom uygulamalar için uygun gözetim organları, protohücreler var olmadan önce oluşturulmalı ve bu organlar, sonraki her bir kontrol noktasında yeniden değerlendirme yapmalıdır. Gözetim organları tarafından otonom protohücreleri laboratuvarda güvenli bir şekilde kullanmak amacıyla, güvenlik seviyesi sınıflandırması ve protokoller geliştirilmelidir. Protohücreler geliştirilmeden önce güvenlik mekanizmaları için kapsamlı bir plan geliştirilmeli; bir dizi güvenlik mekanizması tanımlanmalıdır. Protohücreler laboratuvar dışına salınmadan önce, kapsamlı olarak test edilen güvenlik mekanizmaları ve kalite güvence önlemleri devreye sokulmalı; bu mekanizmaların ayarlanabilmesi ve iyileştirilebilmesi için sonraki kontrol noktalarında yeniden değerlendirilmelidir. Toksik veya bulaşıcı protohücreler yaratmadan önce hem toksik hem de enfeksiyöz ajanları işlemek ve protohücrelerin düzenlemelerini sağlamak için uygun bir yönetmelik ve prosedür uygulanmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Dabrock (2009)	Sentetik biyoloji, Tanrı'yı oynamak anlamına gelmez. Yaratma gücü yalnızca ilahidir ve insanlar tarafından talep edilemez. Aynı şekilde, bu bilim dalının, insanın yaratılış içindeki konumunu ve görevlerini kabul etmedeki başarısızlığına işaret ettiği şüphesi de gerçeği yansıtmamaktadır. Sentetik biyolojinin münhasıran ilahi olana ait olduğuna inanılan bir alana nüfuz ederek, insanın kültürel belleğinde köklü bir sınırı aşma noktasında olması düşüncesi söz konusudur.	Tanrı'yı oynama	Sentetik biyoloji değerlendirmelerini mitolojiden arındırmada sistematik teoloji ve teolojik etik yardımcı olabilir. Teolojik yaratılış ve günah kavramları, bu alanın sözde kutsal, ilahi bir alanı fethetmediğini gösterir. Sentetik biyoloji deontolojik olarak, akla gelebilecek herhangi bir teknolojiden, insan eyleminden veya kurumdan daha fazla suçlanamaz. Bilinen ve gelecekteki tüm biyoteknolojiler için riskler, dayanıklılık, kesin amaçlar, sosyal uygunluk ve güvenlik düzeyleri açısından değerlendirilebilir.
Deplazes et al. (2009)	Sentetik biyoloji, insan edimleri içinde yeni bir safhaya karşılık gelir. Yaratılan canlıların organik canlı ya da makine olarak tanımlanmasının etik ve felsefi sonuçları kaçınılmazdır. Sentetik biyologlar ürettiklerine ilişkin bir adlandırma sorunu içindedir. Makine ve organizma adlandırması önemli farklılıklara işaret eder. Bu farklılık, varlıkların ahlaki statüsüne ilişkin bir ayrımı da kaçınılmaz kılar. Yaşayan organizmaların ahlaki statüsüne ilişkin çok sayıda kuram vardır. Bu bağlamda yaşayan organizmalar bir şekilde ahlakiliğin de konusudur. Buradaki başlıca tartışma, yaşayan organizmalara ne türden bir değer atfedileceğidir. Bazı etikçiler için yaşayan organizmaların kendinde içkin bir değeri vardır ve bu değer, insan için kullanışlı olup olmamalarından bağımsızdır. Başka felsefeciler içinse daha alt kategoriden canlıların içkin bir değeri olmamakla birlikte insan açısından araçsal değeri vardır ve bunlar insan amacı için kullanılabilir. Canlıya içkin bir değer atfedildiğinde, insan için kullanımı gerekçelendirebilmelidir. Makineler açısından ise insan amacına hizmet önceliklidir.	Yaşayan organizma Makine İçsel değer Araçsal değer	Sentetik biyoloji ürünlerini makine ya da organizma olarak adlandırmak basit bir metaforik kullanımın ötesinde önemlidir. Makineler ile organizmalar arasında kimi benzerlikler olsa da önemli temel ayrımlar da vardır ve bu ayrımlar felsefi ve etik açıdan önemlidir. Bu ayrım üzerinden bu ürünlere atfedilen içsel ya da araçsal etik değerler değişebilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Douglas et al. (2010)	Sentetik biyoloji alanı hızla gelişen ve insana önemli faydalar sağlayabilecek bir alandır. Bu nedenle pek çok disiplinin ilgi odağındadır. Biyotetik alanından beklentiler ve alanın sunabileceği katkıların kapsamı henüz net değildir. Bunun belirlenmesi ve anlaşılması önemlidir. Sentetik biyolojiye ilişkin öne çıkan etik tartışmalarda Tanrı'yı oynama; yaşam ile makineler arasındaki ayrımın silikleşmesi ve bu açıdan ahlaki özne olma durumları; bilginin kötüye kullanımı (ikili kullanım ve biyoterörizm) ve fikri mülkiyet konularına yoğunlaşmıştır. Bu süreçte biyotetik alanında yalnızca bilginin üretim süreçlerine değil; aranan bilginin anlamı ve dağıtımı da dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda biyotetiğin kapsamı da genişletilmelidir. Bu tartışma, bilginin etiği kavramıyla kavramsallaştırılmıştır.	Bilginin dağıtımı Üretilen bilginin anlamı ve etik açıdan önemi Bilgi etiği	Biyotetik alanı sadece bilgi üretme süreçlerini konu edinmemeli, bilginin dağıtımı ve bilginin ne anlama geleceği konularına da odaklanmalıdır. Risklerin gerçekçi bir biçimde ele alınmasını sağlayacak bilgi üretme süreçleri olmalıdır. Bilgiye ilişkin iç denetim mekanizmaları geliştirilmelidir. Bilgiyi üretenlere bilgiye ilişkin riskleri sorulmalıdır. Devlet denetimi sağlanmalıdır. Tüm süreçler, bilginin üretimini engellemeyecek şekilde dengelenmelidir. Bu süreçlerde etikçiler, değerlere ilişkin argüman ve bakışları açıklığa kavuşturmaya yardımcı olmalıdır.
Saukshmya et al. (2010)	Sentetik biyoloji alanının hızlı gelişimine bağlı olarak etik ve sosyal sorunlara ilişkin tepkiler gecikmektedir. Etik ve sosyal sorunlar açısından sentetik biyolojinin tüm faydalarının yanı sıra, çevreye ve doğal yaşama zarar verme potansiyeli; biyogüvenlik ve biyoterörizm kavramları üzerinden kötüye kullanım olasılığı; sentetik biyoloji ürünlerinin ticarileşmesi ve fikri mülkiyet haklarının ticarileşme ve kamusal yarar açısından etkisine odaklanılmaktadır.	Doğal yaşamın ve çevrenin zarar görme riski Biyogüvenlik Biyoterörizm İkili kullanım ikilemi Fikri mülkiyet Ticarileşme	Toplumsal kaygıların anlaşıldığı sorumlu bir bilimsel yaklaşım geliştirilmelidir. Araştırmacılar, araştırmalarının sosyal sonuçlarının farkında olmalıdır. Paydaşlar sürece dahil edilmeli ve politikaların geliştirilmesinde katkı sunmalıdır. Biyogüvenlik konusunda düzenlemeler yapılmalıdır. Risk değerlendirme sistemleri aktifleştirilmelidir. Fikri mülkiyet hakları düzenlenmelidir. Risk azaltma süreçlerine hükümetler, araştırmacılar, bilimsel kurumlar ve kullanıcılar destek vermelidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Mori et al. (2011)	Sentetik biyolojinin istenilmeden yapılan ve beklenmedik sonuçları: Yapay biyolojik sistemlerin çevreye salınması sonucu, bu organizmaların ekosistem ve insan sağlığı üzerindeki beklenmedik ve olumsuz olası etkileri ile ilgili endişeler bulunmaktadır (biyogüvenlik). Yapay sistemlerin doğaya salınımı ve doğal organizmalar ile arasında meydana gelebilecek gen alışverişinin doğal ekosistem üzerindeki olası tahribatı söz konusu olabilir. Yapay biyolojik sistemlerin beklenmedik evrimi sonucu, insan patojenlerine dönüşebileceği veya zararlı maddeler üretebileceği endişesi de bulunmaktadır. Sentetik biyolojinin topluma zarar verici ve kasıtlı olarak üretilmesi ve kullanılması: Bu teknolojinin kötü niyetli kullanımı sonucu, mevcut patojenlerin çoğaltılabileceği veya daha yüksek patojeniteye sahip yeni bir tür oluşturabilme endişesi. Sentetik biyoloji çalışmalarının amacı, biyolojik sistemleri yapay olarak oluşturmak olduğundan, Batı toplumlarında “Tanrı rolünü oynamanın” ve hayali canavar benzeri varlıkların yaratılmasına izin verilip verilmeyeceği konusunda etik tartışmalar da gündeme gelmiştir.	Biyogüvenlik Biyoemniyet Tanrı rolü oynama Proaktif yaklaşım İhtiyati yaklaşım	Çalışmaların erken dönemlerindeki yasal düzenlemeler ve laboratuvar ürünlerinin yasal düzenlenmeleri, uluslararası düzeyde koordine edilmelidir. Devletlerin çeşitli yasal düzenlemeler oluşturmalarından önce, bireysel kuruluşlar tarafından gönüllü tedbirler alınmalıdır. DNA sentez şirketleri tarafından müşterilerin taranması, bilim insanlarının biyogüvenlik konularında eğitilmesi, sentetik biyoloji için profesyonel bir topluluk kurulması ve laboratuvarlarda biyogüvenlik konusunda bir el kitabının hazırlanması gibi çeşitli seçenekler önerilebilir. Sosyal bilimlerde alanında çalışan akademisyenler, sanatçılar, şirketler, idari kuruluşlar ve vatandaşlar sadece sonuçları öğrenerek veya toplumla iletişimde aracılık ederek çalışmaların ilerlemesini destekleyen katkıda bulunanlar olarak değil; aynı zamanda bilimsel bilgiyi etkileyebilecek potansiyel işbirlikçiler olarak da görülmelidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Newson (2011)	Güvenliği tehdit eden fiziksel zararlar, sentetik biyoloji bağlamında biyoemniyet ve biyogüvenlik konularıdır. Biyoemniyet, sentetik organizmaların çevre veya insanlar üzerindeki olası olumsuz etkileridir; ancak neyin güvenli olduğu ve bunu kimin belirleyeceği tartışmalıdır. Sentetik biyoloji ürünlerinin biyoterörizm gibi eylemlerde potansiyel kullanım endişesi ile biyogüvenlik tartışmaları ortaya çıkar. Bu bağlamda bir diğer endişe, ikili kullanım endişesidir. Fiziksel olmayan zararlar, sentetik biyolojinin bireylerin ya da toplumların refahına zarar verebilecek amaç ve uygulamalarıdır. Bunlardan biri, insanların yeni varlıklar yaratmadaki rolü ve çevreyle olan ilişkileridir. Daha karmaşık uygulamalara geçildiğinde, yeni varlıkların ahlaki statülerine ilişkin bir değerlendirme gerekebilir. Bu durum, bir yaşam yaratmanın kabul edilebilir olup olmadığının yanı sıra, “yaşam” ve “doğal” kavramlarının ve yaratılışın yeniden gözden geçirilmesini gerektirebilir. Sentetik biyoloji alanının disiplinlerarası doğasından kaynaklanan farklı disiplinlerdeki profesyonelleri içerdği düşünüldüğünde meslek etiği konusu önemlidir. Araştırmayı neyin oluşturduğuna ilişkin farklı beklentilerin veya farklı davranış kuralları görülebilir. Alan geliştikçe, profesyonel dürüstlük konusu da önemli hale gelecektir. Sentetik biyoloji ürünlerinde de ticari fayda ve fikri mülkiyet konusu ortaya çıkmaktadır. Patentleme ve fikri mülkiyet hakları konusunda endişeler bulunmaktadır.	Biyoemniyet Biyogüvenlik İkili kullanım Meslek etiği Ahlaki statü Adil dağıtım Ticari yarar	Sentetik biyolojiden kaynaklanan zararlar, uygun düzenlemeler ile hafifletilebilir. Yasal düzenlemeler, davranış kuralları, profesyonelleşme veya kendi kendine düzenleme gibi farklı modeller söz konusudur. Bu modellerin her birinin farklı olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Sentetik biyoloji için bu modellerin bir kombinasyonu gereklidir. Yararı adil bir şekilde paylaşmak amacıyla süreçlerin nasıl gelişeceği üzerinde müzakereler yapılmalıdır. Sentetik biyolojinin etik, yasal ve sosyal yönleri ile ilgili araştırmalarda (1) biyoetiğin yeni bir alt dalına ihtiyaç yoktur; (2) yeni kavramlar ve sorunlar üzerine yoğunlaşılmalıdır; (3) disiplinlerarası çalışmalar yapılmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Charpa (2012)	Metaetik olarak sentetik biyolojiye ilişkin çalışmalar Golem metaforuna benzetilirse, bu benzetme ahlaki yargılama ve varsayımlarımızı etkiler. Erdem etiği açısından Golem yaratmak kolayca kabul edilemez; zira Golem'i yaratan birey onu kolayca kontrol altında tutabilecek yetkinliklerden yoksundur. Sonuçsalcılar açısından Golem metaforu bağlamında sentetik biyoloji öngörülemez felaketlere neden olacaktır. Kategorik (Kantçı) açıdan ise bu metafor, sentetik biyolojiyi genel olarak izin verilebilir görmez. Ahlaki analizde metaforik söyleme ağırlık verilirse, iyi bir etik analiz yapılamaz. Gerçekte ahlaken sorgulanabilir olan pek çok şey, böyle bir söylem ile kolayca ahlaki olarak kabul edilemez bir pozisyona itilebilir.	Metaforların etik açısından içerdikleri anlam, yarar sağlama ve iyi bir amaca karşın, öngöremezlik ve geleceğe ilişkin riskler İhtiyatlılık Metaetik açısından metaforların risklere yaptığı aşırı vurgu ve etik tartışmaları kısırlaştırma riski	Golem metaforu, sentetik biyolojiye ilişkin etik tartışmaları farklı açılardan engelleyicidir. Sonuçsalcılık, sentetik biyoloji alanında genel ve özel olarak baskın ve eylemleri görece teşvik eden etik yaklaşım olsa da, Golem metaforu uygun ve etkili bir sonuçsalcılık yerine korunma ve riski önlemeye aşırı vurgu yaparak kısıtlayıcı olacaktır. Ahlaki analizde Golem metaforu gibi söylemlere ağırlık verilirse iyi bir etik analizi yapılamaz. Çünkü, metaforlarla ahlaken sorgulanabilir olan konuların ahlaki olarak kabul edilemez pozisyona atılma ihtimali artar.
Glick (2012)	Yahudiliğin yorumlarında, insana yaşadığı dünyayı geliştirmek ve iyileştirmek için zekasını, yaratıcılığını ve fiziksel becerisini kullanmasına izin verilmiştir. Sentetik biyoloji alanında çalışanlar, dünyayı daha bir yer haline getirmek için çalışmaktadır. Tanrı'yı oynama ifadesi, aşağılayıcı ve talihsiz bir söylemdir. Tanrı'yı oynama korkusu, Yahudi geleneğinde pek önemsenmez. Biyoemniyet endişeleri gerçektir ve yaratılan organizmaların tüm özellikleri her zaman tahmin edilemez. Mevcut durumun iyi anlaşıldığı durumlarda bile, değişim her zaman mümkündür. Yahudi geleneğinde insana hem yaratıcı olması hem de inisiyatif alması emredilir. Bununla beraber, insan kibre ve her şeyi bilen, mutlak güce sahip olduğunu varsaymaya karşı uyarılmıştır.	Biyoemniyet Tanrı'yı oynama	Bilim insanları, sentetik biyoloji alanının potansiyelini başarılı ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmek için toplumun desteğini kazanmalıdır. Toplumun bu konuda eğitilmesi önemlidir. Bilim insanlarının ne yaptığının açıklanması ve bu çabalarının dünyadaki birçok sorunun çözülmesine yardımcı olacak bir potansiyelin olduğunun topluma açıklanması için proaktif bir çaba gerekir. Biyoemniyet konusuna büyük bir özen gösterilmesi, sentetik biyolojiye ilişkin olumlu bir kamu imajının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Herhangi bir aksilik, göreceli olarak küçük bile olsa, alan için yıkıcı bir etkiye sahip olabilir. Bu durum, bilim insanlarının dikkatli olmaları için bir nedendir. DNA'nın alfabesi ile oynarken, önemsiz değişikliklerin istenmeyen sonuçlara yol açmadığından emin olunmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Heyd (2012)	Sentetik biyolojiye ilişkin etik sorunun temelini doğal ile yapay arasındaki ayrım oluşturur. Doğal ile yapay arasındaki ayrım, felsefi görüşün temelidir. Yapay olan doğal olana önemli ölçüde egemen olduğunda, bir endişe ortaya çıkar; bu endişenin retorik ifadesi “Tanrı’yı oynamak” olarak ifade edilir. Yoktan bir şey yaratmaya çalışmak ilahi bir ayrıcalıktır ve insanın Tanrı’ya öykünme girişimi kabul edilemez; bir kibir olarak algılanır. İnsan dünyadaki tek zanaatkar olmasına rağmen, kendi doğal yerlerinin sınırlarına bağlı olduklarını kabul etmelidir. Yaratma gücüne sahip olan insan, evrim sürecinin yöneticisi değil, bir üründür ve öyle kalmalıdır. Sentetik biyolojinin dramatik doğasına rağmen, etik açıdan kendisine özgü yeni bir şey bulunmamaktadır. Tekerleğin icadından itibaren tüm teknolojik gelişmeler potansiyel olarak iki yönlüdür. Yine de bu durum, birtakım aşırı risklere sahip laboratuvar çalışmalarına karşı kayıtsız kalmak gerektiği anlamına gelmez. Açıkça ve yaygın olarak kabul edilen bilimsel araştırma özgürlüğü ilkesinin ötesinde, bilgi arayışının kendisi, nihai olarak sosyal normlara ve değerlere bağlı olmalı veya bunlar tarafından sınırlandırılması gereken bir sosyal etkinlik olmalıdır.	Doğal-yapay ayrımı İki yönlü kullanım Tanrı’yı oynama	Sentetik biyoloji çalışmalarının etik düzenlemelerindeki temel metodolojik ve sosyal sorun, bilim insanları tarafından araştırmaların riskleri hakkında çok az şey bilinmesidir. Araştırmanın yararları ve zararları ise bu alandaki bilimsel gelişmelerle ortaya çıkarılarak değerlendirilebilir. Olası riskler konusunda araştırmacıların topluma karşı önemli sorumlulukları vardır. Araştırmanın sonuçlarını ilk onlar elde ettiğinden sentetik biyolojinin pratik kullanımı ve kötüye kullanımları hakkında toplumu bilgilendirmek, alanda çalışanların sorumluluğundadır. Yasal düzenlemelerden önce, bilim insanları çalışmaları üzerinde otokontrol mekanizmasını da çalıştırmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Holm (2012)	Hücre veya diğer canlılar, kendi varlıklarını idame ettirmek için normatif bir organizasyon kurar ve bu teleolojik yaklaşımlarla gerekçelendirilebilir. Canlı varlık, çevreyle etkileşiminde varlığını sürdürmek için normatif bir organizasyon içindedir ve bu durumda belli şeylerin gerçekleşmesi veya takip edilmesi yaşamın devamını sağlar. Böylece varlığını devam ettirmek için sahip olduğu sistem, onun aktiviteleri için normlar olarak yorumlanabilir. Bu koşullara uymazsa varlığı imkânsız hale gelecektir. Organizasyon oluşturma kuramı açısından varlığını sürdürmek, teleoloji ve normatiflik için yeterlidir. Bu bağlamda, ahlakilik açısından biyolojik çıkarın ötesinde bir organizasyon olarak normatif ve teleolojik yapının kendisi ahlaki bir anlama sahiptir.	İnsan yapımı biyolojik ürünün ne'liği Bu varlıkların ahlaki konumları	Organizasyona dayanan biyolojik canlının kendine has varlığını devam ettirmesi için zorunlu olan normatif ve teleolojik yaklaşım, ahlaki açıdan biyolojik çıkar yaklaşımına kıyasla daha güçlü bir tezdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Race et al. (2012)	Sentetik biyoloji ile ilgili etik ve toplumsal kaygılar iki ana kategoriye ayrılabilir: fiziksel zararlarla ilgili endişeler ve fiziksel olmayan zararlarla ilgili endişeler. Fiziksel olmayan zararlar da iki alt kategoriye ayrılabilir: eyleme en yakın olanları en çok ilgilendiren konular (faydaların adil paylaşımı, mülkiyet kontrolü, araştırmalar için gereken araçların sağlanması vb.) ve eyleme katılanlar tarafından ilgi görmeyen konular (ahlaki konularla ilgili kaygılar) Fiziksel zararlar, sentetik biyolojinin riskleri ve sonuçları ile ilgili sağlık, güvenlik ve çevresel etkenleri içeren konulardan; fiziksel olmayan zararlar ahlaki değerler, ahlaki sonuçlar, genel refah ve sosyal adalet konularından oluşur. Proaktif yaklaşım, sentetik biyoloji uygulamalarının destekleyicileri tarafından benimsenir. Buna göre, ciddi fiziksel zarara neden olacağından şüphelenmek için iyi bir neden olmadıkça, yeni teknolojilere müdahale edilmemelidir. İhtiyati yaklaşıma göre, ciddi bir zarar potansiyeli varsa, ilerlemeye karşı çıkılması olasıdır. Genel olarak, güçlü düzenlemeler, düzenli gözetim, riskler ve faydalar hakkında şeffaf kamuoyu araştırması ile ilerlemekte olan alanın gelişimini şekillendirmede toplumun aktif katılımı savunulmaktadır. Uzay araştırmalarıyla ilgili endişelerin çoğu, Dünya'daki sentetik biyoloji uygulamalarında tanımlananlarla örtüşmektedir. Bunlara ek olarak, uzayda sentetik biyolojinin kullanımı, uzay hukuku, gezegenlerin korunması ve çapraz bulaşma, uzay mikrobiyolojisi ve risk değerlendirmeleri, karar verme altyapısı, uzun süreli insan görevleri, bir gezegeni yaşanabilir bir yer haline getirme ve dünya dışı yaşamın olası keşfi gibi sorunlar da gündeme gelmektedir.	Fiziksel zarar Fiziksel olmayan zarar Proaktif yaklaşım İhtiyati yaklaşım	Sentetik biyolojinin uzayda kullanımı için olası uygulamalarının kısa ve uzun dönemli etkileri ve ahlaki sonuçları için, önceki deneyimleri ve yeni teknolojileri gözden geçirmek yardımcı olabilir. Bilim insanları, bilimsel gelişmeleri karar alma süreçlerine entegre etmeye çalışırken, politik ve toplumsal konuların aşamalı olarak ele alınacağına farkında olmalıdır. Araştırmacılar, önümüzdeki yıllarda -Dünya'da ve uzayda- sentetik biyolojinin sunduğu çeşitli yararları keşfetmeye devam ederken, meşru soruların da bilimsel alanın ötesinde önemli alanlarda kaldığına da dikkat etmelidirler. Yeni teknolojilerin gelişimi ile özenli ve sorumlu politikaların oluşturulması arasındaki boşluğun azaltılması için diğer disiplinlerle birlikte çalışılmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Rager-Zisman (2012)	Sentetik biyoloji, biyolojik silah özelliğine sahip organizmaların bilinçli üretimi için gelişmiş teknolojiler sunar. Bu durum, yayınlanmış bilimsel bilgilerin kötüye kullanılabileceğini ve ikili kullanım endişelerini gündeme getirir. Yeniden yapılandırılmış mikroorganizmaların virülansı ve bulaşıcılığı artırılabilir, tespit edilmesi zor olabilir veya insanlar ve çevre için kasıtsız riskler sunabilir. Sentetik biyoloji ile ilgili en sık belirtilen etik konular biyogüvenlik ve biyoemniyet konularıdır.	İki yönlü kullanım Biyoemniyet Biyogüvenlik	Sentetik biyolojinin erken dönemlerinde etik ve yasal çözümleme yapılmaya çalışılmalı ve bu tartışmalar etik, hukuk ve teknoloji uzmanlarını içermelidir. Bilim insanları, özellikle ikili kullanım endişesi bulunan araştırmalar yürütürken, bu araştırmaların bir parçası olarak biyogüvenliğe ilişkin sorumluluğu da kabul ederler.
Thompson (2012)	Sentetik biyolojideki hızlı gelişmeler hem farklı ticari alanlarda hem de tıp, ilaç ve biyoyakıt alanında kullanımı sağlamaktadır. Bu farklı alanlara ilişkin düzenlemeler birbiriyle örtüşmemektedir. Bu bağlamda, tıp etiğinin ilkelerini uygulamak tek başına yeterli olmayabilir. Sadece tıp etiğine odaklanmak, farklı alanlardaki uygulamaların gözden kaçırılmasına ve özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki uygulamalarda sorunlara neden olabilir. Tartışmalarda kök hücre gibi tıp etiği konuları öne çıkarken; çevre etiği, tarım ve teknoloji felsefesine ilişkin sorunlar da göz ardı edilmemelidir. Tarım ya da tıp gibi alanlarda yararlı sentetik biyoloji ürünleri geliştirilirken bunların neden olabileceği ekolojik sorunlara da dikkat edilmelidir. Biyoyakıtların geliştirilmesi, fosil yakıtların azaltılması açısından gerekçelendirilebilir; ancak bunun farklı yollardan iklimi ve çevreyi ne şekilde etkileyeceği de değerlendirilmelidir. Dolayısıyla, sentetik biyoloji tartışmalarında tıp etiğinin görece dar kalan teknolojik gelişmelere ilişkin perspektifinden daha geniş bir bakışa ihtiyaç vardır.	Sentetik biyoetik	Akademik etik veya tıp etiği sentetik biyolojiye ilişkin sorunların sadece insanla sınırlı bir kısmına odaklanmaktadır. Oysa sentetik biyoloji, ticari ve ekonomik etkileriyle daha kapsamlı etkilere sahip olabilir. Bu bağlamda geleneksel tıp etiğinin ötesine uzanan kapsamlı etik bakışa ve tartışmalara ihtiyaç vardır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Bensaude Vincent (2013)	Sentetik biyoloji ile ilgili etik tartışmalar, ileriye yönelik ortaya çıkabilecek riskler ile ilgilidir. Biyoemniyet, biyogüvenlik, <i>biohacking</i>, fikri mülkiyet ve sosyal adalet olmak üzere yerleşik başlıklardan oluşmaktadır. Sentetik biyologlar tarafından riskleri önlemek için ileriye dönük teknik çözümler üretilmelidir. Bu bağlamda, sentetik organizmaların yayılmasını ve doğal yaşamın kontaminasyon risklerini önlemek için laboratuvarlarda geleneksel muhafaza tedbirlerine ek olarak, doğada bulunmayan belirli bir maddeye bağımlı sentetik organizmalar üretmek ya da XNA gibi doğal olmayan nükleik asitleri sentezlemek gibi birtakım önlemler planlanmaktadır. Sentetik biyoloji kaynaklarına erişim ve bunların dağıtımı, açık erişim ile sentetik biyolojinin yenilikçi gelişimlerine ulaşmak ve uluslararası diyalog yoluyla küresel eşitsizliğin artmasını önlemek ile ilgilidir. Bilimsel belirsizlik, sentetik biyolojiye dahil olan aktörlerin farklılığı ve bilimsel, endüstriyel ve jeopolitik çıkarlar karşısında en etkili yönetim katı düzenleyici bir rejim yerine paydaşlar arasında sürekli refleksiviteyi teşvik etmelidir.	Biyoemniyet Biyogüvenlik Sosyal adalet Fikri mülkiyet	Doğal ve yapay, canlı ve cansız arasındaki sınırdaki, laboratuvarlarda tasarlanan nesnelerin varoluş biçimi, kaçınılmaz olarak modern Batı kültürünün omurgasını oluşturan büyük ayrımları sorgular. İnsanların doğadaki yeri ve rolü, hayvanlar ile ilişkisi ve genel olarak çevre ile ilişkileri hakkındaki sorunları gündeme getirir. Sentetik biyoloji çatısı altında tasarlanan çeşitli organizmalar arasında sentetik organizmaların sahip olabileceği potansiyel risklere dayanmayan, daha çok varoluş biçimlerine göre bir ayrım yapılmalıdır. Etik sorunları ele alırken kendi alanlarında sentetik biyologların iyi niyetlerinin sorgulanmadığı bir strateji oluşturmak, toplum tarafından bu alana müdahale edilmesine neden olur. Bununla beraber, risk konularına odaklanma, toplumsal ve çevresel sorunların teknolojik sorunların çözümlere uygun olduğu inancını destekler. Belirsizliklerin yönetimi, sentetik biyoloji alanında çalışanlar ile sivil toplum arasındaki bağın da genişletilmesini gerektirir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Boldt (2013)	Biyoçeşitlilik açısından zarar verici ya da tehlikeli sonuçları bulunsa da, sentetik biyoloji, biyoçeşitliliğe katkı sunmak açısından olumlu değerlendirilebilir; böyle bir biyoçeşitlilik artışının etik olarak savunulabilir veya önerilebilir olduğu iddia edebilir. Bu bağlamda biyoçeşitliliğin içsel değerinin anlaşılması ya da araştırılması, bu türden görüşleri analiz etmek açısından yararlı olacaktır. Biyoçeşitliliği artırmak için sentetik organizmalar üretilmesinin ahlaki bir zorunluluk olup olmadığı araştırılırken biyoçeşitliliğe atfedilen içsel değer analiz edilmelidir. Biyoçeşitliliğe atfedilen iki yaklaşım, biyoçeşitliliği artırmak için organizma sentezlemenin ahlaki bir ödev olup olmayacağını göstermeye çalışır. Yaklaşımların temel farkı, insanın bilgi edinim süreçlerine nasıl baktığı ve buna bağlı ortaya çıkan farklardır. İlk yaklaşım hayranlık/beğeni görüşüdür ve bu yaklaşımda sentetik biyoloji ürünlerini ortaya koymak reddedilir. İkinci yaklaşım akrabalık bakışıdır ve diğer yaklaşımın aksine sentetik ve doğal tür ya da organizmalara değer atfedilebilir. Buna göre, belli durumlarda yeni bir tür oluşturmak etik bir gereksinim olarak yorumlanabilir. Ancak bu, onları sentezlemeden ziyade organizmalarla bir ilişki kurarak onları değiştirme fikrini destekler. Bu yaklaşımlardan yola çıkılarak biyoçeşitliliği artırmak gibi ahlaki bir sorumluluk üstlenilemez. Biyoçeşitliliği artırmak için organizma sentezleme, bu yaklaşımlara başvurularak ödev ahlaki ödev haline gelemmez.	Ahlaki zorunluluk Biyoçeşitliliğin içsel değeri	Biyoçeşitliliği artırmak için organizma sentezlemenin ahlaki yükümlülüğü, biyoçeşitliliğe içsel değer atfeden iki yaklaşım olan hayranlık/beğeni bakışı veya akrabalık bakışı yaklaşımlarına başvurularak gerekçelendirilemez.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Boldt (2013)	Arendt'in fabrikasyon kavramına göre, ortaya çıkarılan bir ürün kendi başına varlığını uzun süre devam ettirebilir. İşlem süregelen ve devamlıdır; fabrikasyon ürünü yeni ve dayanıklıdır. Bununla beraber zarar görmeye de yatkındır ve onu yaratan tarafından yok edilebilir. Fabrikasyon kavramında insan, dizayn edici ya da fabrikatör olarak konumlanabilir. Bu konumunda insan, üretme teknik bilgisine ve ürünü kontrol edebilme ve öngörme yetilerine sahip olarak kurgulanır. Sentetik biyoloji, genel olarak fabrikasyona ve buna ilişkin söyleme ağırlık verir. Ortaya konulan ürün, nitelikleri bilinen ve öngörülen bir makine olarak düşünülür. Yaratma ifadesi de fabrikasyon sürecine ilişkin olarak kullanılır. İnsan bu bağlamda <i>homo creator</i> olarak görülür. Yaşamı yaratmak söylemi sentetik biyolojiye atıfla sık kullanılır. Eylem perspektifinden sentetik biyolojide yaygın olarak kullanılan fabrikasyon yaklaşımında üç temel sorun ortaya çıkar: (1) Sentetik biyoloji, kendisinin yeni organizma yaratmasını ve bunu da güvenilir bir biçimde yaptığını abartıyor olabilir; (2) Sentetik biyolojinin kendi ürettiği yeni ürünlerin güvenliğine ilişkin kendi değerlendirme ve sınırlandırma araçları sınırlı olabilir; (3) Sentetik biyoloji, kendi başına yaşamın anlamıyla bağlantılı olarak şeylerin içsel değerine ilişkin kriter koyamayabilir. Sentetik biyoloji ürünü ve üretimi, eylem perspektifinden öngörülemez, sınırlanamaz bir edimdir.	Sentetik biyoloji ürünün anlamı Sentetik biyoloji faaliyetinin teknolojik bir yenilik "yaratma" faaliyeti olarak görülmesi Fabrikasyon	---

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Braun et al. (2013)	Sentetik biyoloji ile doğa üzerinde niceliksel değişiklikler ile sınırlı bir pozisyon (homo faber) niteliksel değişiklikler yapabilen (homo creator) bir boyuta geçilmiştir. Paradigmatik olan bu değişiklik, insanın antropolojik yorumunda bir değişimdir. Kültürel ve dini metaforların kullanılması insana ilişkin teknolojik değişimlerin insanlar arasında anlaşılmasında önemli roller oynar. Bu açıdan bir metafor yerine başka bir metaforun geçmesi anlamlıdır. Bunlar basit söylemler değildir; gerçekliğe ilişkin bakışın anlaşılmasında, yaşantı ve eylemler açısından önemlidir. Hristiyan teolojisi bağlamında sentetik biyolojiye atfedilen Tanrı'yı oynama ya da yaşamı yaratma söylemleri, tam olarak Tanrı yaratımı kavramıyla eş değer değildir. Sentetik biyolojideki yaratım ya da meydana getirme daha çok var olanlar üzerine ikincildir. Bu açıdan insanın yaratıcılık sıfatı, teolojik yaratıcılığa kıyasla asla tam bir Tanrısal yaratıcılık anlamında özgünlük içermez. Teolojik etikteki nüansların farkında olmak, bu çalışmaların toplum ve bilim açısından ortaya çıkaracağı sonuçların uygun ve duyarlı bir biçimde ele alınmasını sağlar. Bu bağlamda teolojik etiği de içeren duyarlı bir yaklaşım, insanın yaratım olanaklarını bütünüyle yok saymamanın yanında, sorumluluk sahibi bir yaklaşımın da izlenmesini sağlar. Yaratılmış olduğunun bilincinde olan insan, yaratma eyleminde bulunduğunu kavrayabilir. Bu, insan yaratımlarının dinsel olarak gerekçelendirilebilir olduğu anlamına gelir. Burada kritik olan insanın eyleminin diğer şeyleri etkileme potansiyeline sahip olduğunun farkında olmasıdır. İnsan, dünyayı ya da doğayı şekillendirirken sorumluluk bilinci taşımalıdır.	Sentetik biyolojiye teolojik-etik yaklaşım Tanrı'yı oynama	Sentetik biyoloji alanına ilişkin tartışmalarda teolojik etik de dikkate alınmalıdır. Bu alan insanın yaratma edimi ve buna ilişkin metaforik söylemlerin açığa kavuşturulmasını ve anlaşılmasını sağladığı gibi insan yaratımının dinsel olarak da gerekçelendirilebilir olduğunu gösterebilir. Bunun yanı sıra, yaratılmış bir varlık olan insanın yaratımı, Tanrısal yaratımla farklıdır ve insanın sorumluluk bilinciyle teknolojiye yaklaşması önemli bir değerdir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Douglas et al. (2013)	Bir varlığın yaratılmasının ahlaki önemine ilişkin üç değersel söylem vardır. Bunlar yapay bir varlık yaratmanın Tanrı'yı oynamayı içerdiği iddiası; yapay bir varlık yaratmanın yaşama yönelik özel ahlaki değerlerinin altını oyan bir indirgeme ile sonuçlanacağı iddiası ile yapay organizmaların işlevlerinin belirsiz olacağı endişesi; buna bağlı olarak da ahlaki statülerinin belirsiz ve net olmayacağına ilişkin kaygılardır. İlk söylemde bir yaşam yaratmanın doğrudan ahlaki olarak olumsuz bir anlam taşıması fikri açık değildir; ikincisinde ise yapay varlıkların yaratılmasının doğrudan bir indirgemeci tutumla sonuçlanma olasılığı açık değildir. Üçüncü söylemde ise organizmaların belirsiz özelliklerinin evrimsel olarak değişken olabileceği ve bu açıdan ahlaki statülerinin zaten özellikleri ile ilişkili olacağıdır. Bu söylemler yapay yaşam yaratılmasının, organizmaların mevcut yaşam biçimlerinden türetilmediği şeklindeki görüş ile gerekçelendirilemez. Ahlaki açıdan ayırt edici olan, organizmanın ne şekilde yaratıldığı değil; yaratılan varlığın sahip olduğu özelliklerdir.	Yapay varlık yaratmanın ahlaki anlamı Tanrı'yı oynama Ahlaki statü	Doğal olarak kendiliğinden var olamayacak yaşam türleri yaratma kapasitesi, bu varlıkların çıkarları, ahlaki durumları ve diğer varlıklar için oluşturdukları riskler hakkında derin ahlaki sorunları gündeme getirmesi kaçınılmazdır. Ahlaki öneme ilişkin sorulara bakarken asıl olan, yaşamın nasıl yaratıldığı değil, bu yaratılan varlıkların ne tür özelliklere sahip olduklarıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Heavey (2013)	Sentetik biyoloji, toplumsal olarak yaşam onuruna olumsuz bir tutum göstermez. Yaşam için tehlikeli şekillerde uygulanması ya da bazı olumsuz tutumlara yol açması, sentetik biyolojinin kendisinin yaşam onuruna meydan okuduğu anlamına da gelmez. Bununla beraber, insanlığın yapay bir yaşam yaratmanın eşiğine gelecek ileri bir aşamaya gelmesi, insanlığın ve yaşamın kendisinin onurunun bir yansımasıdır. “Tanrı’yı oynama” ithamı, sentetik biyolojiye özgü değildir; genetik mühendisliği, anestezi, organ nakilleri, yapay doğum kontrolü ve beyin ölümü teşhisi gibi bilimsel ilerlemelere de aynı itham yöneltilmiştir. Ana akım dini düşünürlerin önemli bir bölümü de sentetik biyolojinin kendi içinde Tanrı’nın yaratıcı rolüne sahip olmadığı görüşündedir.	Yaşam onuru Tanrı’yı oynama Deontolojik yaklaşım	Önemli bir konu için, birbirinden ayrı farklı etik araçların kullanımı, bu araçlar o konu hakkında çelişkili yanıtlar verdiğinde yeterli değildir. Bu bağlamda, sentetik biyolojinin tam bir değerlendirilmesi için tek bir etik yaklaşımın yeterli olmadığı görülmektedir. Sentetik biyolojiye tek bir etik yaklaşım uygulamak, zorlu bir soruna uygulanan başarısız bir algoritmaya eşdeğerdir. Yaklaşımları uygun bir şekilde harmanlamak, kusurlu da olsa yararlı, sezgisel bir sonuç verebilir ve etik olarak “Gerçek”e yaklaşmayı sağlayabilir.
Holm (2013)	Paley organizma hem biyolojik olmayı hem de insan tarafından yaratılmış olmayı ifade eder. Bu organizmalara, kendi yararlarına ve çıkarlarına dayanan bir ahlaki konum atfedilebilir. Biyolojik fonksiyonelliğin devamı, bu organizmalar için gerekliliktir. Organizmanın varlığının idamesi, eyleyen organizmanın eyleminin aynı zamanda kendisi için normatif bir anlam taşımasıdır. Kendi varlığını idame ettirebilen sentetik organizmaların ahlaki statüsü değerlendirilmelidir. Yaşayan organizmalar ile üretim ürünü olan diğer organizmalar arasındaki temel ahlaki ayrımlardan biri, organizmaların kendi yararına ve çıkarına eylemesidir. Kendi yaşamlarını devam ettirmek için uygun fonksiyonların sürdürülmesi ışığında sentetik organizmalara ahlaki konum atfedilebilir.	Teleoloji Ahlaki konum Paley organizma	Paley organizmalara kendi kendini idame ettiren organizasyonlarına dayanan uygun işlevler yüklenebilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Kelle (2013)	Sinir, immün veya endokrin sistem gibi düzenleyici sistemlerin mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, aynı zamanda bu sistemleri daha yüksek özgüllükle hedef alabilen ve biyolojik olarak aktif kimyasal bileşiklerin de potansiyel kötüye kullanımına da olanak sağlamaktadır. Sentetik biyoloji, parçaların ve modüllerin standartlaştırılması ile ilgili sorunlar çözüldüğünde, ikili kullanım potansiyeline de sahip olacak ve kötüye kullanım olasılığı ortaya çıkacaktır. İkili kullanım için yönetim önlemleri, alanda çalışan ve/veya çalışacak sentetik biyologların eğitim ve öğretimine, davranış kurallarına, yönergelere, yönetmeliklere, ulusal ve uluslararası yasal metinlere kadar uzanır.	İkili kullanım Yönetişim önlemleri	Olası ikili kullanım için beş farklı (<i>principal investigator, project, premises, provider/purchaser ve public</i>) müdahale noktalarını içeren yönetim önlemleri matrisi önerilmiştir. Bu matris ile ortaya konulan ikili kullanım için yönetim önerilerinin veya mevcut ve uygulanmakta olan önlemlerin tanımlanmasını ve tartışılmasını kolaylaştıracağı ve bunların ihtiyat ilkelerinin araştırılması hedeflenmektedir. Sentetik biyolojinin ikili kullanımı için daha sistematik bir ihtiyati yönetim yaklaşımı benimsenmelidir. Bu sistematik ve sürdürülebilir yönetim yaklaşımının kapsamı, içeriği ve süreçleri hakkında kurumsal, ulusal ve uluslararası düzeyde yapılandırılmış bir söyleme ihtiyaç vardır.
Link (2013)	Sentetik biyoloji, canlı-cansız ve doğal-yapay arasındaki ayrımı bulanıklaştırır. Bu ayrımın ortadan kalkacağı endişesi, daha yüksek yaşam formlarının yaratılması ile ilgilidir. Sentetik biyolojinin ahlaki açıdan sorgulanabilir olması için önce yaşamın kendi içindeki değeri ve sentetik biyolojinin bu değerlerle ne şekilde çatışabileceği sorusuna odaklanılmalıdır. Canlı varlıkları belli bir amaç için yaratarak onurlarını ihlal etme suçlaması bir anlam karmaşasıdır. Organizmaları tasarlamak ve üretmek, onlara araçsal bir şekilde davranmak veya teloslarına saygı göstermemek anlamına gelmez. Sentetik biyoloji özelinde, yaşamın herhangi bir içsel değerine zarar verme söz konusu değildir. Sentetik biyologların güçlü bir araca sahip olacakları düşüncesi, onların doğayla kaygısızca “oynayabilecekleri” endişesini de beraberinde getirir. Bu yeni teknolojilerin olası etkilerinin artışı, risklerin büyük ve hesaplanamaz görünmesi Tanrı’yı oynamakla eşdeğer olarak görülür. Ancak, Tanrı’yı oynama düşüncesi, yeni bir söylem değildir.	İçsel değer Tanrı’yı oynama	Bir topluluğun hangi yolu izleyeceği, etik bir uzmanlık sorusu olmaktan çok kolektif ve politik bir karar konusudur. Bu nedenle, politika yapımcılar, toplumun bilimsel gelişmeleri ne ölçüde onayladığını ve araştırmaları nasıl bir fonu ile destekleyeceğini değerlendirmelidir. Bu nedenle, sentetik biyoloji ile ilgili bir toplumsal diyalog teşvik edilmeli ve birçok konu açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu noktada, filozoflar da kavramsal yanlış anlaşılımları ortadan kaldırarak veya etik konular hakkında bilgi sağlayarak sürece katkı verebilirler. Sentetik biyologların kendisi de kafa karışıklıklarını giderebilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Smith (2013)	Özellikle tıbbi uygulamalarda sentetik biyoloji uygulamalarının olası yararları belirgindir; ancak yine de alan henüz başlangıç aşamasında olduğundan bu yararları net bir şekilde öngörmek olanaksızdır. İyatrogenesis ve biyoterörizm gibi konular ise sentetik biyolojinin olası olumsuz çıktılarıdır. Olumlu veya olumsuz çıktılar bağlamında sentetik biyolojiye ihtiyat ilkesi ile yaklaşım çeşitli sorunlar taşır. Buradaki temel sorun, sentetik biyoloji ile ilişkili bilginin kısıtlanmasıdır. Yararcı perspektiften sentetik biyolojiye kapsamlı bir hareket alanı sağlamak için “bırakınız yapınlar” (<i>Laissez faire</i>) şeklinde bir argüman savunulabilir. Hiçbir ahlaki kuram kusursuz olmasa da, sentetik biyoloji alanında yararcılık argümanı uygulama açısından iç tutarlılığa sahip ve üstün özellikler taşımaktadır.	Yararcılık İhtiyat ilkesi Bırakınız yapınlar ilkesi	Özellikle tıp gibi alanlar açısından sentetik biyoloji çalışmalarının ve buradan üretilen bilginin yararının oldukça belirgin olacağı beklenmektedir. Bu açıdan ihtiyat ilkesine normal bilimsel ve mikrobiyoloji çalışmalarındaki güvenlik kurallarına uymak bakımından bağlı kalmak pek çok olumsuz sonucu engellemek için yeterlidir ve aşırılığa gerek yoktur.
Kaebnick et al. (2014)	Gelişmekte olan bir teknoloji, toplum tarafından izlenmek ve olası olumsuzlukları dikkate alınmak koşuluyla olumlu karşılanır; hatta bu teknolojinin gelişmesinin teşvik edilmesi beklenir. Sentetik biyoloji ile ilgili etik tartışmalar da temelde bu ekseninde yürütülür. Temel konulardan biri, gelişen bu dinamik alanın kendisini rahat hissetmemesi gerektiği; daima bir belirsizlik ve itidal alanı olduğunun bilinmesidir. Alan hem pratik hem de kavramsal belirsizlikler içermektedir. Sentetik biyoloji ile ilgili olarak üç temel kaygı ortaya çıkar: (1) sentetik biyolojinin içsel değeri; (2) sentetik biyolojinin somut fayda ve zararlarına ilişkin endişeler; (3) adaletle ilişkin kaygılar.	İnsan-doğa ilişkisi Sentetik biyolojinin potansiyel yarar ve zararları Adil dağılım Müzakereci yaklaşım	Sentetik biyolojiyle ilgili etik kaygılara yönelik nihai bir karara varmak mümkün değildir. Ortaya çıkan/çıkbilecek olası sorunlar için sürece ilişkin çok boyutlu bir metodolojiyi kullanmak mümkündür. Bu bağlamda, toplum ile müzakere en temel basamaklardan biridir. Toplum doğru bilgilendirilirken, onlardan da katkı alınmalıdır. Bunun yanı sıra, sentetik biyolojiye ilişkin kavramlar hakkında iyi bilgilendirme yapılması; etik analizlerin sürekli yapılması, profesyonellerin kendi yapıp ettiklerini öz değerlendirmeye tabi tutması da önemlidir. Bilgi etiğine önemli verilmeli; bilginin yararlı amaçlarla kullanımına dikkat edilmelidir. Değerlerin ve sonuçların sık sık analizlerinin sık yapılması da önemlidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Raho. (2014)	Etik sorunlar grubunun ilki, sentetik biyolojinin oluşturduğu mevcut ve öngörülebilir riskleriyle ilgili fiziksel zararlardır. Bunlar biyogüvenlik ve biyoemniyet konularıdır. Biyoemniyet, organizmaların çevreye salınmasıyla ilişkilidir. Bu organizmaların kasıtsız olarak doğaya salınımı, tarım, çevre ve halk sağlığı için önemli tehditler oluşturur. Sentetik biyoloji, tehlikeli virüsleri veya bakterileri üretme, çoğaltma ve değiştirme potansiyeline sahiptir. İkili kullanım, biyogüvenlik konusu olarak ortaya çıkar. Metafizik görüşlerden yaratılan ürünlerle ilgili endişelere kadar farklı konuları içeren sentetik biyolojiye içsel itirazlar ikinci grubu oluşturur. Bunlar, Tanrı'yı oynama, geleneksel olarak kabul edilen ayrımları bulanıklaştırma ve doğaya karşı olması olarak ifade edilebilir. Metafizik ve teolojik anlayışa göre Tanrı'yı oynama argümanında insanların yaratılışa nasıl müdahale edeceği belirlenemez. Çeşitli şekillerde yaratılışa saygı duymaya çalışmak, bilimin temel amaçlarının ihmal edileceği anlamına gelmez. Aynı argümanın epistemolojik versiyonu ise büyük ölçüde samimiyetsizdir. Bilim insanların amacı, sentetik biyoloji ürünlerinin sorumlu bir şekilde ele alınmasını teşvik etmektir. Biyoemniyet ile ilgili endişe, sentetik biyoloji için içsel değil; ampirik bir itirazdır. Sentetik biyolojinin organizma ile makine ve canlı ile cansız arasında geleneksel olarak kabul edilmiş ayrımları bulanıklaştırdığı düşüncesinin arkasındaki etken, yeni bir organizma yarattıktan sonra o organizmanın ahlaki statüsünü önemsiz görmektir. Bu organizmaların içsel bir değere sahip olduğu kabul edilirse, onlara karşı doğrudan yükümlülükler göz önünde bulundurulmalıdır. Sentetik biyolojinin doğaya karşı olduğu argümanı ise sınırlıdır.	Fiziksel zarar Biyoemniyet Biyogüvenlik Tanrı'yı oynama İçsel değer	Sentetik biyoloji, doğayla ilişkimizde potansiyel olarak radikal bir değişimi temsil etmektedir. Emekleme döneminde ve manipülasyon aşamasında olan bu alanda önemli bir soru, bilim insanlarının ilk basamaktan sentetik hücreler oluşturabildiklerinde buna nasıl yanıt verebileceğidir. Sentetik biyolojiye yönelik içsel itirazlar, doğal dünyayla ilişkileri yeniden düşünmeye zorlarsa da, araştırmaların yapılmaması için yetersizdir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Baertschi (2015)	Yaşamın, zihnin, kişiliğin ve özne olmanın doğal olmayan ya da fiziksel olmayan açıklamalara dayandırılması oldukça zordur. Modern bilim ile ya da onun sayesinde daha sağlam metafizik bir zemine oturulur. Yaşam, “bir şekilde ortaya çıkmış ve belli özelliklere sahip olmak” ise, canlılık işlevleri taşıyan varlıklar, yaşam formu ya da yaşama sahip olarak değerlendirilebilir. Buna göre, yaşam var edilebilir. Bilim insanlarının bir kısmı inkâr ediyor olsa da sentetik biyoloji ürünlerinden canlılık fonksiyonu olan varlıklar oluşturmak bir yaratımdır. Böyle bir kabul ile varlığa ilişkin metafizik bakış da değişebilir. Nörobilim ve sentetik biyoloji ile bilimsel veriler ve metafizik kavramsallaştırmalar arasında bir bağlantı ve paralellik kurulabilir.	Yaşamın doğallığı Özgür irade Ahlaki konum Belirlenmişlik	Zihin güçlü bir biçimde bedene içkin gibi görünmektedir. Zihnin ya da ruhsal işlevin bütünüyle bağımsız olduğunu iddia etmek güçtür; deneyim ve metafizik yakınsamaktadır. Sentetik biyoloji ve nörobilim gibi alanlardaki gelişmeler, pek çok metafizik kabul ve tartışmayı değiştirebilir. Bu bağlamda yaşam, zihin, kişi olma ve özne olma gibi pek çok kavramı doğal olmayan yollarla açıklamak ya da bu alanlara atfetmek daha zor savunulabilir hale gelmektedir.
Chen et al. (2015)	Doğada bulunmayan yeni biyolojik işlevler ve sistemler tasarlamayı ve inşa etmeyi amaçlayan sentetik biyolojinin, doğal ve yapay arasındaki sınırları yeniden tanımlayacağına dair yaygın bir görüş vardır. Deontolojik açıdan, Tanrı’yı oynama, gelecekteki canlılar üzerinde müdahale etme hakkı ve doğal gelişime insan müdahalesi gibi uzun süredir devam eden tartışmaların bir devamıdır. Yapay yaşamın söz konusu olmasıyla birlikte muhafazakârlar ile radikal Darwinizm taraftarları arasındaki “her şeyi yalnızca Tanrı’nın (veya doğanın) yaratma yeteneğine sahip olup olmadığı” tartışması yeniden gündeme gelmiştir. Sentetik biyoloji, biyoemniyet, biyogüvenlik, paydaşların katılımı ve fikri mülkiyet hakları ile ilgili sorunları da gündeme getirir.	Tanrı’yı oynama Doğal-yapay ayrımı Biyoemniyet Biyogüvenlik	Yalnızca ahlaki, etik ve dini tartışmalar nedeniyle sentetik biyolojinin tüm başarılarını olumsuzlamak için hiçbir neden yoktur. Birçok disiplinde dinsel etik tartışmalar bulunduğu ve sentetik biyoloji araştırmalarının amacının insanlığa yarar sağlamak olduğu düşünüldüğünde, araştırmacıları aşırı katı ahlaki standartlarla engellemek gereksiz görünmektedir. Yaşama saygı, Dünya’daki herhangi bir yaşam formunu dönüştürmenin uygun olmadığı anlamına gelmemektedir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Magnin (2015)	Modern zaman teknobilimi, doğayla, dünyayla ve kendimizle olan ilişkimizi şekillendirir. Biyolojik bilimler ile felsefe arasındaki yol ayrımında, ekonomik ve yasal bir arka plana sahip olarak ortaya atılan çok sayıda soru arasında, üç temel etik sorun grubu bulunur: (1) Yararlar ve riskler arasındaki denge açısından biyoemniyet ile ilgili sorunlar: Yeni oluşturulan mikroorganizmalar doğada serbest bırakılıp mutasyona uğrarsa ne olur? Terör tehditleri bağlamında, yeni ve tehlike oluşturacak virüsler yaratıldığında biyogüvenlik konusu nasıl ele alınmalıdır? (2) Bu teknoloji insanlara uygulandığında, insanın sınırları hangi noktaya kadar ve ne pahasına aşılabılır? Amaç insanileşmek mi, yoksa insanın sonluluğundan kaçıp, insanın ölümünü ve kaderini inkâr etmek midir? (3) Sentetik biyoloji ile canlılar ve yaşam arasındaki ilişki dönüşüme uğrar ve neyin doğal, neyin yapay, neyin canlı ve neyin cansız olduğuna dair görüşümüz etkilenir. Sentetik biyoloji yoluyla üretilen mikroorganizmaların sağlamlığında canlıların tümü için kullanılan kırılabilirlik konusu gündeme gelir. Sağlamlık, biyolojik bir sistemin, çevresindeki fiziksel ve kimyasal dönüşüme karşı duyarsızlığını ifade eder. Kırılabilirlik, seviyesi bir canlıdan diğerine büyük ölçüde farklılık gösterse de, canlı varlıklara içkin ve tüm canlıların ontolojik bir özelliğidir. Bu sayede de tam eşitlik sağlanır. Tüm canlılardaki kırılabilirlik düşüncesi, yeni biyoteknoloji çağında etik davranış konusundaki çalışmalara başlamak için uygundur.	Kırılabilirlik Sağlamlık	Hem avantajlar hem de riskler sunan sentetik biyoloji ve diğer teknobilimler tarafından sağlanan olanaklar bağlamında bugünün ve yarının canlılarından sorumlu olmak, bu canlıların karmaşık ve kırılabilir doğalarını düşünmek anlamına gelir. Günümüzün teknolojik gücü, canlıların kırılabilirliği karşısında sorumlu davranmamızı her zamankinden daha fazla gerektirmektedir. Etik bilimsel ve teknik gelişmeyi yasaklamaz veya engellemez; ancak insana canlıların kendisine ve yaşamına saygılı bir modern teknolojinin daha verimli hale gelmesine neyin yardımcı olduğunu tanımlar. Bu bağlamda, filozoflar ve bilim insanları birlikte çalışmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Newson (2015)	Sentetik biyolojinin potansiyel uygulamaları, (i) Bir varlığın ‘canlı’ olarak tanımlanabilmesi için hangi özelliklere sahip olması gerekir? (ii) Canlı yeni biyolojik varlıklar meydana getiren sentetik biyoloji araştırmaları gerekçelendirilebilir mi? (iii) Bir varlığın nasıl canlı hale geldiği önemli mi? (iv) Canlı bir varlık yaratıldığında, bu varlık hangi noktada ahlaki statüye sahip olanlara atfedilen haklara ve yaşam hakkına sahip olmalıdır? gibi birçok felsefi ve etik soruları gündeme getirir. Yeni yaşam formları yaratmak, kendi içinde değerli olan içsel biyolojik bilgiyi de ortaya çıkarır. Bu durum, yaşamı mekanik olarak görmek yerine yaşamın karmaşıklığına hayranlık uyandırabilir. Hesap verebilir ve iyi değerlendirilen risk yönetimi olduğu sürece risk, yeni yaşam formu yaratılmasını kınamak için yeterli değildir. Biyoenmniyet önlemleriyle ilgili olarak, önemli bir etik gerekçe, zarardan korunmadır. Sentetik biyoloji ürünlerinin popülasyonları veya çevreyi kötü bir durumda bırakmamasını sağlamak önemlidir. Biyogüvenlikle ilgili sorunlar ise ikili kullanım ile ilgilidir. Bu, aynı araştırmanın hem iyi hem de kötü amaçlar için kullanılabileceğini tanımlar. Fayda paylaşımı, yapay olarak sentezlenmiş bir genomun patentinin alınmasının uygun olup olmadığı gibi etik soruları içerir. Sentetik biyoloji ürünlerinin fiyatlandırılmasını ve bulunabilirliğini etkilemede patentlerin ve diğer fikri mülkiyet konularının rolü de önemli durmaktadır.	İçsel değer Biyoenmniyet Biyogüvenlik İkili kullanım Fayda paylaşımı	Sentetik biyolojinin tamamen yeni etik sorunlar ortaya çıkarmadığı ve sentetik biyoloji içindeki etik analizin biyoetik içinde ayrı bir araştırma alanı olarak tanımlanmaması gerektiği açıktır. Bununla birlikte, en iyi yönetim stratejisi veya bir bilgi etiğinin uygunluğu gibi etik sorular, sentetik biyoloji veya gelişmekte olan teknolojiler için henüz çözülememiştir. Alan için hem sentetik biyolojinin olası gelecek senaryoları hakkında genişçe düşünme hem de olası veya gerçek olan daha spesifik çıkarımlardan bazılarına odaklanma yeteneğine sahip bir etik analiz yaklaşımından yararlanabilir. Sentetik biyolojide biyoetik metodolojisi üzerine devam eden eleştirel düşünme, daha genel olarak biyoetikte metodoloji üzerine eleştirel düşünmeye de izin verecektir. Alanın disiplinlerarası doğası göz önüne alındığında, bazı yeni gözlemlere de yol açabilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Wareham et al. (2015)	İhtiyat ilkesi, bir araştırma projesi yürütülmesinin tehlikeli olduğu koşulları belirlemek için epistemik bir gereklilik olarak görülür. İhtiyati tedbir uygulama koşullarında olası zararın büyüklüğüne duyarlı ve bir etkinliğin neden olabileceği olası zararın derecesi, gerekli standartların üzerinde olmalıdır. Sentetik biyoloji, olası yararlarıyla birlikte, yıkıcı sonuçların riskini de taşır. Bir etkinliğin olası zararı daha büyükse, bu etkinliği önlemek için zararın gerçekleşeceğine dair daha zayıf kanıtlar gereklidir. Bu ilke bir risk önleme çerçevesinde şekillenen kanıt-zarar orantılılık kuralıdır. Risk kavramı, istenmeyen bazı sonuçların beklenen değeri olarak modellenir. Bu değer, bir olayın normal anlamda sahip olması ‘beklenen’ değer değil; karşılaştırma amacıyla ve bir karara varmak için olasılıkları ve sonuç değerlerini birleştirmenin bir yoludur. Kanıt-zarar orantılılık kuralı, bir etkinliğin olası zararı daha büyükse, etkinliğin gerçekleşmesi için zararın oluşmama olasılığının daha yüksek olması gerektiğini kabul eder. Bir etkinliğin olası zararı daha büyükse, etkinliği önlemek için zararın meydana gelme olasılığı daha düşük olmalıdır. Bir eşik değer, belirli bir kanıt seviyesinin altında, olası zararların göz ardı edilebileceğini gösterir. Bir zarar yeterince olası değilse, dikkate alınması gerekmez. Buna göre, bir sentetik biyoloji projesi, zarar olasılığı belirlenen minimum olasılık eşiğinin altındaysa, ihtiyati tedbirden kaçacaktır.	İhtiyat ilkesi Kanıt-zarar orantılılık kuralı Eşik değer Nesnel Bayes kuralı	Asgari bir baraj belirleyen eşik değeri, toplum tarafından onaylanmalı ve toplumun göz ardı edilebilecek ve dikkate alınması gereken olasılıklara ilişkin bilinçli değerlendirmesini yansıtmalıdır. Zararlar eşiğin altına düşecek kadar olası değilse, göz ardı edilmelidir. Ödeme istekliliği, insanların risklerle ilgili tercihlerini değerlendirmek için yaygın bir yöntemdir. Araştırmacı bu yöntemi uygulayarak düşük olasılıklı olaylardan kaçınmak için insanların ne kadar ödemeye istekli olduğunu sorgulayabilir ve bu şekilde bir eşik üretilebilir. Bir sentetik biyoloji projesinin belirli bir zarar olasılığı varsa, bu önceden belirlenmiş olasılık, eşik değeri ile karşılaştırılabilir ve tutarlı bir şekilde önlemler alınabilir (veya alınmayabilir). Toplumla belirlenen eşik değerinin epistemik yararları reddedilse bile, etik bir faydası söz konusudur. Müzakereci eşik değeri belirleme, toplumu doğrudan etkileyen riskin derecesi ile ilgili kararlarda daha fazla paydaşı dahil ederek, insanların özerk tercihlerine saygı duyulmasını sağlar. Bu sayede sentetik biyoloji projelerinin olası tehlikeli sonuçları hakkındaki kararların meşruiyetini artırır. Müzakereci eşik değeri belirleme, sentetik biyoloji projeleri hakkında kararlar alırken ele alınan olasılık alanını betimlemek için makul bir yol sağlar. Nesnel Bayes kuralı, sentetik biyoloji projeleri ile uğraşırken karşılaşılan “karanlıkta kalan kararlar” hakkında akıl yürütmek ve eşik değerin üzerindeki tehditleri değerlendirmek için uygun bir araçtır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Gómez-Tatay et al. (2016)	Sentetik biyolojinin etik çerçevesinin çizilmesinde kişinin ontolojik yapısı temelinde nesnel değerini savunan ve antropolojik bir kuram olan ontolojik kişiselcilikten yararlanılabilir. Sgreccia tarafından önerilen bireyin yaşamını ve genetik kimliğini koruma; iyileştirici ilke; ekosistemin ve çevrenin korunması; insan ve yaşayan diğer canlılar arasındaki ontolojik ve aksiyolojik farklılıklar; topluluk yetkinliği ilkeleri sentetik biyolojiye uyarlanabilir. Yaşamın anlamı, ahlaki statü, biyoemniyet, biyogüvenlik, sentetik insanlar ve sosyal farkındalık konuları bu ilkeler ile temellendirilebilir. Doğrudan (tıbbi uygulamalar) ya da dolaylı (sentetik biyoloji ürünlerinin çevreye salınımı) uygulamalarda insan yaşamının bütünlüğünün ve onurunun ihlal edilmeyeceği temin edilmelidir. Olası yararlarına rağmen, yanlış kullanım olasılığı, bu alanda bilgi edinmenin ve yaymanın doğru olup olmadığından şüphe duymaya yetecek kadar tehlikeli bir dizi risk doğurur. Bir organizmanın ahlaki statüsü, eylemlerinin sonuçlarını belirleyen özellikler tarafından verilir. İnsan ve diğer canlılar arasındaki ontolojik ve aksiyolojik farklılıklar, insana özel niteliklerden kaynaklanır. Sentetik organizma salınımının riskleri (biyoçeşitlilik hasarı, yatay gen transferi, çevre ve diğer organizmalar üzerinde beklenmeyen etkiler), güvenlik sistemlerinde yapılan ilerlemeler (fiziksel önlemler, organizmaların hayatta kalmalarını belirli koşullarla sınırlama), DIY hareketi gibi biyoemniyet ve kötüye kullanım riski (biyolojik saldırılar, biyolojik savaş), güvenlik sistemlerindeki ilerlemeler vb. biyogüvenlik konuları hakkında toplumu bilgilendirmek zorundadır. Böylece toplum da tartışmalara katılabilir ve uygun düzenlemelerin oluşturulmasına yardımcı olabilir.	Ontolojik kişiselcilik Yaşamın anlamı Ahlaki statü Biyoemniyet Biyogüvenlik Sentetik insanlar Sosyal farkındalık	Tasarlama, inşa etme veya yeniden yaratma terimleri, sentetik biyoloji alanında yapılanlardan bahsederken yaratmaktan daha uygun terimlerdir ve kullanımları endişeleri önleyecektir. Sentetik biyoloji, olası yararlarının yanı sıra, insan sağlığı ve çevre için gerçek riskler oluşturur. Sentetik biyoloji ürünleri ile diğer organizmalar ve çevre arasında bilinmeyen sonuçlar doğuran etkileşimler görülebilir. Bu nedenle, alanda yeni gelişmeler ve uygulamalar gerçekleştirilirken biyoemniyete ilişkin önlemler geliştirilmelidir. Bunun yanı sıra, biyolojik silahların üretimi, toksin üretmek için sentetik organizmaların veya yeni patojenlerin tasarlanması gibi sentetik biyolojinin olası kötüye kullanımları da dikkate alınması gereken risklerdir. Biyogüvenlik sorunları, yapılacak araştırmalara ve bilginin yayılmasına kısıtlamalar getirilerek, genetik materyal piyasası üzerinde yasama denetimi yapılarak ve DIY hareketini denetleyecek bir tür bürokrasi kurularak önlenmelidir. Sentetik biyolojinin güvenli, uygun ve adil bir şekilde ilerlemesini sağlamak için gerekli düzenlemelerin oluşturulmasını sağlayabilecek uygun şekilde bilgilendirilmiş bir tartışmayı geliştirmek için sentetik biyoloji topluluğunu, kamuyu ve yasa koyucuları içeren bilgilendirici bir girişim gereklidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Gregorowius et al. (2016)	Sorumlu araştırma ve yenilikçilik (RRI), risk ve toplumsal veya etik sorunların ele alındığı en yeni modeldir. Bu model ile bir teknoloji geliştirildikten sonra ortaya çıkan sonuçların ve etkilerin değerlendirilmesinden, teknoloji geliştirilirken inovasyon sürecine dahil olmaya doğru bir değişim amaçlanır. Gelişmekte olan teknolojilerin ve uygulamaların değerlendirilmesi ve geliştirilmesi sürecinde, etik düşünme ve öngörü de yer almalıdır. Bu konuların dahil edilmesi, yalnızca analiz etme ve yorumlama için değil; aynı zamanda teknolojik uygulamaları ve bunların toplum ve çevre üzerindeki olası etkilerini şekillendirmeye de yardımcı olmalıdır. İlk viral ve bakteriyel genomların sentetik olarak üretilmesinden sonra sentetik biyoloji, teknoloji değerlendirmesi perspektifinden biyoterörizm, biyogüvenlik, laboratuvar güvenliği, çevre koruma, fikri mülkiyet hakları ve genel etik sorunlar çerçevesinde tartışılmıştır. ELSI/ELSA modellerinden RRI yaklaşımına geçişle birlikte, sentetik biyolojideki toplumsal ve etik kaygıların gelecekteki zorluklara yönelik yeniliklere dahil edilmesi de gündeme gelmiştir. Sorumlu araştırma ve yenilikçilik modelini sentetik biyolojiye uygulamanın zorlukları arasında (1) bu teknobilimdeki olanaklarla ilgili belirsizlik; (2) toplumu dahil etmek için uygun modeller bulmak; (3) bilimsel merakı ve mühendislik yaratıcılığını engellemeden yenilik sürecini etkilemek bulunmaktadır.	Sorumlu araştırma ve yenilikçilik	Sorumlu araştırma ve yenilikçilik, sentetik biyoloji gibi gelişmekte olan bir teknolojinin değerlendirilmesinde, tek başına bu teknolojinin riskleri ve olumsuz sonuçları hakkındaki endişelere odaklanmaması gerektiğini vurgular. Bunun yerine, teknoloji değerlendirilmesi de yenilik ve buluş sürecine dahil edilmelidir. Süreç içindeki en büyük zorluklardan biri, toplumu bu sürece dahil etmek ve sorumlu araştırma ve yeniliği neyin oluşturduğunu tanımlamak için doğa ve sosyal bilimciler arasındaki toplumsal ve etik hedefleri ortak analiz etmektir. Sentetik biyoloji için RRI modelinin uygulanması, araştırma ve yeniliğin toplumun katılımı yoluyla şekillendirme ve bilimsel merak ve mühendislik yaratıcılığı için yeterli alan bırakma arasındaki dengeyi yönetmelidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Hagen (2016)	Bilim politikasında sentetik biyoloji ile ilgili toplumsal tartışmalar, yenilikleri önleme ya da azaltma riski içerir. Bilim politikalarındaki bu sorunların önlenmesi amacıyla birtakım ara stratejiler geliştirilmiştir: (1) düzenleme süreçlerinde bilimsel kanıtlara güvenmenin önemi ve meşruiyetindeki tartışmalara yönelik girişimler; (2) mevcut ve ek düzenlemelerin ekonomik risklerini ya da kapsamı sınırlı olan izlem önerilerini vurgulayan bilimsel politika tavsiyeleri; (3) kendini değerlendirme ya da kendini yönetme stratejilerine yapılan vurgu; (4) beşerî ve sosyal bilimler ve sanat ile geliştirilen ilişkilerin süreci meşrulaştırması, bunun sonucunda iyi bilimsel bir iletişim yaratılması. Bu girişimler yeterince yerleşik olmasalar da önemli ölçüde “araşsal gerçekleştiren bir motivasyona” dayanır. Böyle bir girişim, yalnızca bilim dünyası ile sınırlı değildir; politika yapıcılar ve fonlayıcılar tarafından da desteklenir. Sentetik biyoloji, sadece dinamik bir teknobilim değil, aynı zamanda hem bilimin ne şekilde yönetileceğine hem de sorumlu araştırma ve yenilikçilik (RRI) gibi konseptlerin yaygın kullanılması açısından da önemli bir örnektir. Sentetik biyolojideki gelişmelerle beraber, etik tartışmalar da ortaya çıkar. Bu bağlamda çeşitli standart teknoloji değerlendirme çalışmaları ve girişimleri oluşturulmuş ve özellikle ELSA ve RRI kavramları öne çıkmıştır. Sorumlu araştırma ve yenilikçilik kavramı özellikle şeffaflık, açıklık, disiplinlerarasılık, felsefe ve beşerî bilimler ile ilişkilidir. RRI ile vurgulanan bir diğer konu ekonomik büyümeye ilişkindir ve fonlama açısından önemlidir.	Sorumlu araştırma ve yenilikçilik Etik ve beşerî bilimlerin bilimsel politikaları meşrulaştırma aracı olma riski	Gelişmekte bir alan olan sentetik biyolojide geniş katılımlı etik tartışmalar yürütülmesi, toplumsal güvenilirliğin sağlam olması, doğru şeyler yapıldığının, hatalardan kaçınıldığının gösterilmesi açısından önemli ve gereklidir. Katılım ve işbirliği, hataları önlerken meşruiyeti de artırır. Sentetik biyoloji, bilim politikaları açısından ekonomik ve siyasi beklentilerin de etkili olduğu bir alandır. Kendisinden hem ekonomik kazanım hem de sorunlara çözüm beklenmektedir. Bu nedenle alana ilgi artmaktadır. Artan bu ilgiye karşın riskler ve sorunlar göz ardı edilmemelidir. Sentetik biyoloji araştırmalarında politik ve ekonomik beklentilere dayalı gerilimler hesaba katılmalıdır. Sentetik biyoloji için ana strateji, bilime desteğin yanı sıra giderek artan paydaşların da eklenmesi, ELSA ve RRI faaliyetleri de dahil olmak üzere, yumuşak yönetim olmuştur. Bu bağlamda, gelecekteki araştırmalar için politik, akademik yönler ve gerilim alanları da dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Laird et al. (2016)	Sentetik biyolojide meydana gelen bilimsel gelişmeler hızlı ve dinamik; politikaların geliştirilmesi de zorlayıcıdır. Erişim ve yarar paylaşımı deneyiminden yola çıkılarak sorumlu araştırma ve yenilikçilik modeli, sentetik biyoloji gibi hızlı gelişen ancak görece az bilinen bir alan için uyarlanabilir. Yönetsel kapasite sınırlılıkları, yetki karmaşası, fon eşitliği ve stratejik yaklaşımların olmayışı bu yaklaşıma göre sentetik biyoloji için önemli eksikliklerdir. Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ile diğer politikaların koordineli birlikteliği, RRI'nin uygulamalar açısından özellikle sosyal adalet, sürdürülebilirlik, biyogüvenlik ve gelişen teknolojiler ile ortaya çıkabilecek diğer sorunlar için önemli bir yöntem ve zemin sunar. Aynı zamanda etik olmayan uygulamaların da azalacağı söylenebilir.	Sorumlu araştırma ve yenilikçilik	Sentetik biyoloji ve diğer yeni teknolojiler geliştikçe sorumlu araştırma ve yenilikçilik modelini diğer politikalarla uyumlu olarak tüm araştırma süreçlerine açık ve bütüncül bir bakışla yerleştirmek acil bir gereksinimdir. Bu sayede farklı kazanımların yanında etik olmayan uygulamaların önlenmesi de kolaylaşacaktır.
Macnaghten et al. (2016)	Bilimin içsel olarak objektif ve güvenilir; dışsal olarak sosyal etkileri dikkate alan bir anlamı vardır. Aydınlanmada bilimdeki olumlu tutum, faydaya yönelik olma, tarafsızlık ve objektiflik, 20. yy.da teknobilim-güç ilişkisi ile değişmiş; sorumluluk kavramı gündeme gelmiştir. Bilim insanları sadece dışsal risklere karşı değil, aynı zamanda bilimin amaç ve motivasyonları üzerine de düşünmelidir. Sentetik biyoloji özelinde, belirsizlikler ve etik ile ilgili olarak bu kaçınılmazdır. Toplum, sentetik biyoloji çalışmalarında önemli bir etkidir. Toplumsal zararlar fazla ise uzlaşmazlık; yararlar fazla ise kabul görme olasılığı artar. Geleceğe ilişkin sorunları aşmak için bilimsel süreçte toplumsal değerlerin de göz önüne alındığı bilim politikaları olmalıdır. Bu bağlamda sorumlu yenilikçilik modeli ön plana çıkar. Bu modele göre, sentetik biyoloji gibi gelişmekte olan bir alanın sosyal ve etik yönleri tartışılırken öngörülebilir etmenlerin genel bir tahmini ortaya konulabilir.	Sorumlu yenilikçilik	Kurumsal ve yönetsel düzeyde değişiklikler önemlidir. Sorumlu yenilikçiliğin yararlı ve yerleşik hale gelmesinin birincil koşulu, yönetimlerin bunu çok farklı genel yararı gözeterek şekilde geniş katılımı ile işler hale getirmesidir. Sorumlu yenilikçilik modeli, kurumsal olarak ve gerçekten desteklenmez ise zaman içinde yalnızca araçsal kullanımla sınırlanabilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Schmidt et al. (2016)	Geleceğe yönelik teknobilimlerden olan sentetik biyolojinin sınırlarının anlaşılması, olası risklere dair yaklaşımlar için önemlidir. İleriye yönelik teknolojik değerlendirmeler, gelişen bu yeni teknoloji için analiz etme, anlama, öngörme ve yeri geldiğinde şekillendirme olanağını erken bir biçimde sunar. Sentetik biyoloji özelinde ileriye yönelik teknolojik değerlendirmelerde Hans Jonas’ın etik anlayışı ve zorunlu sorumluluk kavramları dayanak olabilir. Sentetik biyoloji henüz emekleme aşamasında, beklentilerin yüksek olduğu bir alandır. Sentetik sistemler elde edildiğinde onları anlama, algılama ve kontrol etme ile ilgili riskleri anlamak ve değerlendirmek alanın zorluklarıdır. Sentetik biyolojinin dinamik yapısı, kontrol edilmesini zorlaştırır. Bu, kaçınılmaz olarak bir belirsizlik yaratır ve insan tarafından üretilen şey, erişilemez ve denetlenemez hale gelir. Bu durum, teknolojiye ilişkin akılcı tasarım kavramını dönüştürür. Jonas’ın yeni teknolojilere ilişkin etik yaklaşımı ihtiyati bir yaklaşımdır. Eylemlerde, insana ilişkin varoluşsal zorunlu bir sorumluluk olmalıdır. Zorunlu sorumluluk, “öyle bir eyle ki, eylemin etkileri gelecekte şu anki gibi bir yaşama zarar vermesin” olarak tanımlanır. Biyolojinin gelecekteki önemini gören Jonas, teknolojiye ilişkin kontrol olanaklarının azalacağını söylemiştir. Bu durum, gelecekteki öngörme ve değerlendirmeleri içeren etik düşünmeyi zorunlu kılar. Bu bağlamda sentetik biyolojinin başlangıcından itibaren daha güvenli ve kontrol edilebilir sistemlerin tasarımı üzerinde düşünülmelidir. Alanın sürdürülebilir olması da önemlidir. Bu etmenler teknoloji değerlendirmesi süreçlerinde ele alınabilir.	İleriye yönelik teknolojik değerlendirme İhtiyati yaklaşım Zorunlu sorumluluk	Etik olarak, sentetik biyoloji gibi belirsizlikler içeren geç-modern teknoloji türünü ele almak, sınırlamak, şekillendirmek veya ortaya çıkacak sorunlarla başa çıkmak için prosedürler geliştirmek üstlenilmesi gereken temel bir görevdir. Bu bağlamda Hans Jonas öncü olarak değerlendirilebilir. Onun geleceğe yönelmiş etik bakışı sorunların anlaşılması açısından değerlidir. İleriye yönelik teknoloji değerlendirmesi, yeni ortaya çıkan teknoloji dalgasının teknobilimsel özünün analiz edilmesini ve değerlendirilmesini sağlayacak disiplinlerarası, eleştirel-refleksif bir yaklaşım sunabilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Ahteensuu (2017)	Etik kaygılar içsel ve dışsal kaygılar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. İçsel kaygılar, sonuçları ne olursa olsun, teknolojinin (kullanımının) bazı özellikleri dolayısıyla sentetik biyolojinin araştırma ve pratik uygulamalarının ahlaki olarak sorgulanabilir olduğu düşüncesini somutlaştırır. “Yeni yaşam formları inşa etmek Tanrı’yı oynama, doğal olmama veya insanın kibrinin ahlaki sınırlarını aşıyor mu?” sorusunu içerir. Dışsal kaygılara göre sentetik biyolojinin araştırma ve pratik uygulamaları, bilinen, tahmin edilen veya olası sonuçları nedeniyle ahlaki olarak sorgulanabilir. “Yeni tür organizmalar ve türler inşa etmek, doğayı ve kendimizi algılama biçimimizi değiştirir mi? Yoksa sentetik organizmaların statüsünün yanlış değerlendirilmesine mi neden olur?” Bu kaygılar yokuş aşağı kayma argümanına dayanır. “Çoğunluğun genel sağlık bakımı pahasına sadece ayrıcalıklı bir azınlığa sunulan pahalı tedaviler şeklinde sentetik biyolojinin kullanımı, toplumda adaletsiz bir dağılıma yol açar mı?” sorularını içerir. Dışsal kaygılar ayrıca insan sağlığına, hayvanlara ve çevreye olası zararlı sonuçlarla ilgili endişeleri de içerir. Biyoemniyet ve biyogüvenlik bu bağlamda öne çıkar. Biyoemniyet, olası istenmeyen ve beklenmeyen sonuçları önlemek için ilkelere, uygulamalara ve belirli eylemlere atıfta bulunur. Patojenik mikroorganizmaların dört sınıfı (risk grupları) ile ilgili laboratuvar tesisi gereksinimleri ve koruma önlemleri buna örnektir. Biyogüvenlik ise, sentetik biyolojinin kötü amaçlarla kullanılmasını önlemeye yönelik ilkeler, uygulamalar ve belirli eylemlerdir. Bu tür riskler en basit biyoterörizm endişesinden ve biyolojik savaşa kadar uzanan bir süreklilik oluşturur.	İçsel kaygılar Dışsal kaygılar Biyoemniyet Biyogüvenlik İhtiyati tedbir	Biyogüvenlik tehditlerine karşı ortak bir yanıt, ihtiyat ilkesini uygulamaktır. Bununla beraber, bu riskler karşısında ne tür ihtiyati tedbirlerin haklı çıkarılacağına dair başka bir soru gündeme gelir. Genel olarak ihtiyati tedbirlerin doğrudan yasaklamalar veya aşamalı olarak kaldırma, erteleme (moratoryum), pazar öncesi testler, etiketleme ve devam etmeden önce daha fazla bilimsel bilgi talepleri şeklinde olabileceği düşünülür. Bir diğer ihtiyati müdahale türü, yeni ihtiyati risk değerlendirme yöntemleri oluşturmak olabilir. Bu durumda odak, yalnızca tanımlanan tehditlerle nasıl başa çıkılacağı değil, aynı zamanda ilk baştaki tehditleri tahmin etme ve değerlendirmedir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Häyry (2017)	Sentetik biyoloji etiği, akademik bir disiplin olarak hem bilim hem de bir mühendislik dalı olarak sentetik biyoloji tarafından ortaya atılan değer ve normla ilgili soruları inceler. Politik bir uygulama olarak ise zararı önlemek, riskleri azaltmak ve çıkar çatışmalarını kontrol etmek için sentetik biyoloji alanındaki araştırma ve üretimi düzenler. Sentetik biyoloji ile ilgili üç endişe ortaya çıkar: (1) yeni yaşam formları yaratmanın özünde kötü olması ya da kötü sonuçlara yol açması; (2) saha çalışmalarına ya da düzenlemelere rehberlik eden, nedensiz korku ya da temelsiz iyimserlik; (3) tüm gelişen teknolojiler gibi, mühendislik yaşamının da sorunsuz bir şekilde ilerlemesi için toplumun onayına ihtiyaç duyması. Yeni yaşam formlarının yaratılmasında fiziksel olarak tehlikeli bir şey üretilebilir ya da uygulamaları sosyal açıdan zararlı olabilir. Yeni yaşam formu yaratmak aynı zamanda sembolik nedenlerden dolayı da yanlış olabilir. Bu bağlamda eleştirilen geleneksel sembolik argümanlar “doğal olmama” ve “Tanrı’yı oynama”dır. Doğal çevreye yeni yaşam formları sokmaya yönelik diğer sembolik itirazlar, saflık (belirsiz bir anlamda) ve insan yapımı varlıkların kirlетici etkisi ile ilgilidir.	İhtiyat ilkesi Umutlandırııcı ilke	İhtiyat ilkesi, çevre politikası ve teknoloji değerlendirmelerinde kullanılan yaygın bir standarttır. Buna göre, bir kararın sonuçları felaketle sonuçlanabilirse, kararın güvenliği bilimsel olarak yeterince güvence altına alınmadan karar verilmemelidir. İhtiyat ilkesini eleştirenler, bir kişinin herhangi bir gerekçeyle güvenliği sorgulamasının bile en kullanışlı uygulamaların yasaklanmasını gerektirebileceğine dikkat çeker. Sentetik biyoloji de dahil olmak üzere, bilim ve teknolojiye neredeyse tüm özgün ilerlemeler, daha önce denenmediklerinden tahmin edilemezler. Bu bağlamda ihtiyat ilkesi iyi bir politika sunmaz. Bu ilke, kişinin makul ölçüde temkinli olmasına değil, daha çok yersiz bir korku tarafından yönlendirilmesine neden olur. “Umutlandırııcı ilke”, teknolojik ilerlemenin insanın gelecek refahı için gerekli olduğu ve korku ve endişelere dayalı engellemelerin en tehlikeli icatlardan bile daha fazla acıya neden olduğu inancına dayanır. Yararlı gelişmelere neden olabileceğinden, sentetik biyolojiye, etik gözetim altında ve güvenli olmadığı güvenilir bir şekilde gösterilmedikçe, herhangi bir engelleme olmaksızın izin verilebilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Heavey (2017)	Sentetik biyoloji uygulamalarının tarım, tıp, yakıt üretimi ve bilimin gelişmesinde pozitif etkileri olduğu kadar olası tehlikeleri de söz konusudur. Bununla beraber biyoemniyet ve biyogüvenlik ile ilgili sorunlar da gündeme gelmektedir. Sentetik organizmaların çevreye salınım olasılığı ve etkileşime girdiği diğer organizmaların evrim sürecini etkilemesi mümkündür. Sentetik biyoloji, biyolojik silahlar için yeni bir düzeye ulaşma olasılığını yaratır. En yararlı olanlar da dahil, tüm araştırmalar, halkın biyolojik silahları elde edebileceği bir biçimde ikili kullanımı gündeme getirir. Sentetik biyolojinin bilinmeyen bilinenleri, tehlikelerinin çok büyük olduğu gerçeğidir. Olası yararların büyük ve en iyi senaryoda insanlık için devrim niteliğinde olması, olası tehlikeleri açık olmasına rağmen araştırmaların devam etmesinin nedenidir. Sentetik biyolojinin ikili kullanımlı doğası, en yararlı gelişmelerin aynı zamanda olumsuz olarak kullanılma olasılığına da sahip olduğu anlamına gelir. Etik olarak hem yarar hem de zarar olasılığının çok daha büyük görünmesi ile diğer bilim ve teknoloji alanlarından farklılaşır. Etik değerlendirmede inkâr ve bilinçli cahillik, sentetik biyolojinin en kötü senaryolarında, insanlığın yaşadığı en büyük felaketlere neden olabilir. Olası yararları olası olumsuzluklara karşı dengeleyerek sonuçcu yaklaşımın sentetik biyolojiyi desteklemeyeceği söylenebilir. Ancak, tehlikeli uygulamaları en aza indirirken, araştırmanın yararlı tarafının gelişmesine izin veren düzenlemeler geliştirilebilirse bu durum değişebilir. Alanın uygun bir şekilde düzenlenmesi etik bir zorunluluktur ve bu düzenlemeler yaptırımların ötesine geçmelidir. Düzenleme, en kötü durum senaryolarının meydana gelme olasılığının minimum olmasını sağlamalıdır.	Sonuçsalcılık Biyoemniyet Biyogüvenlik İkili kullanım	Sentetik biyoloji hem büyük potansiyel yararlar hem de büyük potansiyel tehlikeler sunar. Sentetik biyoloji araştırmalarının tehlikeleri en aza indirilmediği sürece etik olmadığı ve sonuçsalcılık açısından desteklenemeyeceği düşünülmektedir. Sonuçsalıcı bir analiz, sentetik biyolojinin potansiyel yararlarını ve tehlikelerini belirlemede ve kısa vadede nasıl yanıt verecekleri konusunda etikçilere ve yasa yapıcılara rehberlik etmede paha biçilmezdir. Bununla beraber, sentetik biyolojinin nihai olarak etik olup olmadığını ve insanlığın bu girişimde bulunup bulunmaması gerektiğini belirlemede bir öneme sahip değildir. Sonuçsalcılık, sonuçların kısa vadenin ötesinde anlamlı bir şekilde tahmin edilemediği bir senaryoda başarısız olur.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Holm (2017)	Sentetik biyoloji ile ilgili argümanın odak noktası, kendin-yap (DIY) sentetik biyoloji yaptığı varsayılan kötü niyetli <i>biohacking</i> hareketidir. Bu hareket, literatürde yeni patojenin DNA'sını veya RNA'sını tasarlayıp sentezleyebilen, onu gerekli miktarlarda kültürleyebilen, aerosol veya toz halinde bir silah haline getirebilen, paketleyebilen ve yayabilen önemli güçlerle donatılmıştır. Ancak, tüm bu güçler herhangi anlamlı bir gerçek uygulamaya dayanmadığından bir dereceye kadar efsanevidir. Biyoterör argümanının oynadığı pragmatik rol, bu argümanın uygulanabileceği yeni teknolojilerin sürekli gelişiminin, orta yaşlı veya daha yaşlı biyoetik uzmanlarının argümanları tekrarlamasına izin vermesidir. Bununla beraber, biyoterörizm argümanın kullanımıyla ilgili iki felsefi problem ortaya çıkar: (1) farklı felsefi soruların analizinin karşılaştırmalı önemini doğru olarak değerlendirmenin zorluğu; (2) karşılaştırmalı önem belirlenebilse bile, belli bir sorunun önemini ve belirli bir kişinin o soru hakkında düşünmesinin önemini göz ardı etmeyle ilgili yanılğı. Sentetik biyolojinin yarattığı varsayılan biyoterörizm sorunu, ilk anlamda önemli görünmemektedir. Bu soruyu analiz etmek veya çözmek, genel olarak ikili kullanım problemi dikkate alınarak büyük felsefi bir ilerlemeye yol açmayacaktır.	Biyoterörizm	Argüman, geçerli ve sağlam olmasına değil, sadece retorik olarak ikna edici olmasına bağlı olan bir dizi işlevi yerine getirir. Argümanın biyoetikteki kullanımı, genel kullanımına çok benzer: sentetik biyolojiyi önemli bir faaliyet alanı olarak kurmak. Sentetik biyolojinin savunucuları bu argümanı paradoksal olarak, yatırım yaptıkları bu yeni teknolojinin gücünü ve kullanılabilirliğini göstermek; politikacılar ise liberal olmayan güvenlik ve gözetim politikalarını savunmak için kullanırlar. Biyoterörizm sorunu, literatürün söylediği kadar önemli bir sorun değildir. Biyoetikçiler "sistemik adaletsizlik" veya "gücün kötüye kullanımı" hakkında "biyoterörizm"den daha fazla söz etmedirler.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Pang et al. (2017)	Sentetik biyolojinin etiği, deney ve araştırmalardan doğan ahlaki sorunları tanımlayan pratik etiktir. Pratik etiğin sentetik biyolojideki rolü, bu yenilikçi teknolojiye yararları en üst düzeye çıkarmayı ve teknolojinin yan ürünleri olan zarar ve riskleri en aza indirmeyi teşvik etmektedir. Bu etik tutum iki tür tepki doğurur: uygun bir etik karşılığı teşvik edecek bir düzenleme oluşturma eğilimi veya düzenleme olmaksızın yararları en üst düzeye çıkarmak için teknolojinin geliştirilmesinde ısrar. Sentetik biyolojinin insan yapımı organizmaları da dahil olmak üzere canlı organizmalarla uğraşmanın etiği, sadece normlar ve ilkeler değil, aynı zamanda bir cevaplanabilirlik (sorumluluk) ve saygı tutumudur. Sentetik biyolojinin hücreleri insan için manipüle etmenin bir tür kibir olduğunu ve bunun bazen ‘Tanrı’yı oynama’ olarak adlandırıldığı öne sürülebilir. Sentetik biyoloji ile ilgili anahtar soru, onu kimin yarattığı değil, bilimin arkasında hangi tutum ve düşünce yapısının olduğudur. Bu etik bakış açısı hem yaratma hakkında hem de risk ve güvenlik veya deneysel perspektif ile yaşam ve doğa perspektifinden farklı olarak tutumu ve insan algısını sorgular. Araştırmaya ilişkin etik değerlendirme, sadece araştırmacıların tutumunu değil, aynı zamanda bilgi üretimi, paylaşımı ve değişimi yoluyla Ar-Ge yönetimini de etkiler. Araştırma etiği, toplumun araştırmacılara yönelik algısını şekillendirirken, toplumun araştırmacılara güven ve saygı duymasını sağlar. Bu anlamda kamu politikasının etik niteliği, canlı veya cansız varlıklar ile ilgili değil, onlara yönelik insan tutum ve davranışları ile ilgilidir.	Pratik etik Tanrı’yı oynama	---

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Takala (2017)	Sentetik biyoloji ile ilgili etik tartışmaların çoğu, onun olası sonuçları ile ilgilidir. Sentetik biyolojinin risklerini azaltmak açısından biyoemniyet ve biyogüvenlik konuları son derece önemlidir. Mevcut durumda eğer varsa, gerçek yararlarından herhangi biri görülmeden önce, zararlarının görülme olasılığı daha fazladır. Belirli yararlı işlevleri yerine getirmek ve bu amaçla biyolojik parçalar, cihazlar ve sistemler tasarlamak ve yaratmak için genlerin, biyolojik sistemlerin ve çevrenin işlevi ve etkileşimi hakkında daha fazla bilgi sahibi olunmalıdır. Bununla beraber, öngörülemeyen, kararsız organizmalar yaratabilmek için fazla bilgi sahibi olmaya gerek yoktur. Yanlışlıkla, düşüncesizce veya kötü niyetle çevreye salınan sentetik organizmalar, sentetik biyolojinin mevcut durumda sunduğu en büyük tehdittir. Manipülasyondan yaratmaya geçiş, potansiyel olarak yaşamın değerini zedeler. Doğayı istediğimiz her şeyle doldurulacak bir boşluk olarak bakma düşüncesi, yaşamı değerli bir şey olarak görme eğilimini tehdit eder. “Yaşamın kendi içinde bir değeri var mı; yoksa yaşamda değerli olan bir şey mi var?” sorusunda yaşamda değerli bir şey olduğu düşünülürse, sentetik biyoloji bu değeri zorunlu olarak tehlikeye atamaz. Bununla beraber, sentetik biyoloji, ahlaki değeri olan bir yaşamın tanımlanması için gri bir alan yaratır.	Biyogüvenlik Biyoemniyet Yaşamın değeri	Sentetik biyolojinin sonuçları büyük ölçüde bilinmediğinden, biyoemniyet ve biyogüvenliğe daha fazla vurgu yapılmalıdır. Herhangi bir teolojik anlamı olmaksızın, sentetik biyologların yeni yaşam formları yaratmasıyla “Tanrı’yı oynadığı” söylenebilir. Bununla beraber, bu argüman ile kabul edilebilecek sınırlar aşmakta ve yetkin olmayan ellerde tehlike yaratmaktadır. Bu bağlamda, sentetik biyoloji alanında çalışanlar, bu alanda ilerlemeden önce ortaya çıkabilecek tüm sonuçları dikkate aldığından emin olmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
van de Poel et al. (2017)	Güvenli tasarım, güvenlik ile ilgili sorunların araştırma ve geliştirme süresince ve yeni teknolojilerin tasarım aşamaları boyunca dikkate alınmasını ve tartışılmasını amaçlar. Sentetik ürünü organizmaların çevreye salınımı gibi konular güvenli tasarım konusunu önemli hale getirmiştir. Güvenli tasarım yaklaşımı riskin analizi, riskin nasıl yönetileceği ve teknoloji piyasaya çıktığında güvenliğe ilişkin bir dizgeyi içerir. Bununla beraber, teknolojiye ilişkin hem gerçek bir güvenliliktan hem de riskten tamamen kaçınmak mümkün değildir. Bu bağlamda, insan eylemlerinde bir belirsizlik söz konusudur. Tam güvenliği elde edebilmek için tasarlamaya girişmektense, bu belirsizliği kabul etmek ve onu potansiyel bir güvenlik kaynağı olarak kullanmak daha iyidir. Doğrudan güvenliği tasarlamak yerine, güvenliğe ilişkin sorumluluğu merkeze alan bir tasarımın daha kullanışlıdır. Tasarımcılar güvenlik sorumluluğunun en iyi nerede konumlandığını düşünmeli ve teknolojiler buna göre tasarlanmalıdır. Belirsizliği tasarlamak, tasarımlarının güvenliği konusunda sorumluluk alma ve zararlardan koruma için bir yol olabilir. Bu süreçlerde paylaşılmış bir sorumluluk alınmalıdır. Bununla beraber sorumluluklar da bağlama göre olmalıdır. Örneğin ikili kullanım konusunda niyet iyi olsa da, ortaya çıkan sorunlar sorumlulukları aşabilir. Bu nedenle araştırmalardaki belirsizlik kabul edilmeli; ancak sorumluluktan kaçınılmamalıdır. Teknoloji sahipleri için de bu türden bir sorumluluk önemlidir; teknoloji sahiplerinin elinde değişim ve dönüşüm potansiyeli taşır ve bu ahlaki bir sorumluluk içerir. Ortaya çıkacak zararları azaltma ya da önleme konusunda bir duyarlılık yüklenmelidir.	Güvenli tasarım Ortak sorumluluk	Tasarım yoluyla güvenlik sorumluluğunun nasıl paylaşılabileceğine ve dağıtılacağına karar vermede kullanılabilecek bazı sezgisel yöntemler kullanılabilir. Özellikle sentetik biyoloji gibi alanlarda güvenli tasarım ile tüm riskler ve belirsizlikler ortadan kaldırılamaz. Bunun yerine belirsizliği kabul ederek ve sorumluluk alarak yapılan tasarım ve araştırmalar akla yatkındır. Bunun yanı sıra, araştırma ve tasarım süreçlerinde sadece güvenliğe ilişkin sorumluluklar ile her şeyin çözülemeyeceği, değer çatışmalarının kaçınılmaz olabileceği de bilinmelidir. Çünkü bir şeye erişim, bazı durumlarda başka bir değerden ödün verilmesiyle sonuçlanabilir. Sonuçta daima optimal bir çözüm olmasa da tasarımda hem değerlerin çeşitliliğinin hem de belirsizliğin farklı biçimlerde ortaya çıkabileceğinin farkında olmak, güvenli ve geniş bir yelpazede daha iyi hizmet veren ürünlerin tasarımı için kritiktir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Boldt (2018)	Makine metaforu, sentetik biyolojinin ne olduğuna dair belirli bir anlayışın merkezi bir parçasıdır. Hem bu anlayışın bir ifadesi olarak önem kazanır hem de araştırmaları buna göre şekillendirir. Örneğin, hücre içi süreçlerin nedenlerini aramaya ve tanımlamaya; bu tanımlama ile mühendisliğin yeni özelliklere sahip tek hücreli organizmaların geliştirilmesine yardımcı olabilir. Sentetik biyoloji, hücre içi ve hücreler arası moleküler süreçleri tanımlamak, açıklamak ve değiştirmek için merkezi kavram olarak, bilgi teknolojisinin eşdeğeri olan makine metaforu ve türevlerini kullanır. Sentetik biyolojide makine metaforlarının yaygın kullanımı, rasyonel tasarım ve yapım ideallerinin biyolojiye, dolayısıyla canlılığa dahil edildiği bir ifade olarak görülebilir. Makine metaforu, sentetik biyolojinin ne olduğuna ve neyi amaçladığına dair büyük resme tam olarak uyar. Bilimsel ilerleme içinde sentetik biyolojinin yeri, ontolojik bir varsayımla yakından ilişkilidir. Karmaşık molekülleri açıklamak, karmaşık yapının içerdiği basit molekülleri bilmek anlamına geliyorsa ve bir organizmanın işlevini açıklamak, bu organizmanın genetik yapısını belirlemek ve analiz etmek ile aynıysa, bu durumda karmaşık bir nesnenin işleyişi, bu nesnenin parçalarının davranışını yöneten yasaların ve düzenliliklerin sonucudur. Bu bağlamda, bir nesnenin parçaları ve işlevleri biliniyorsa, bu nesnenin davranışı güvenilir bir şekilde tahmin edilebilir. Makine metaforunu hayvan ile insan hücreleri arasındaki genetik süreçlere uygulamak, bu süreçler hakkında teknolojik bilgi birikimine yararlı olabilir. Ancak, bunu bütün halde organizmanın kendisine uygulamak, hayvan davranışının ve insan failliğinin özelliklerine adaletli davranmaz ve ahlaki statü atıflarını anlaşılmaz kılar.	Makine metaforu	Sentetik biyolojideki güçlü bir kavram olan makine metaforu, genetik parçaların bir bütün olarak organizmanın işlevleriyle ilişkisini analiz etmek ve organizmaları tasarlamamanın yollarını belirlemek için araştırmaları verimli bir şekilde yönlendirebilir. Evrimsel süreç ve ekosistem etkileşimleri gibi organizmaların özelliklerini sistematik olarak azaltır. Makine metaforu açısından, bir varlığı ahlaki bir fail veya hasta olarak görmek şüpheli hale gelir. Bu perspektiften, ahlaki statü atfedilmesini garanti eden canlı varlıkların özellikleri, güvenilir bir şekilde önceden tanımlanmış belirli etkileri ortaya çıkaran kısımlar açısından açıklamalara karşı gerilim içinde olduklarından, yanıltıcı fenomenler olarak yeniden yorumlanmalıdır. Makine metaforu, genelde bilim ve teknolojinin, özelde sentetik biyolojinin doğasının ve potansiyelinin bazı yönlerini vurgular. Bu bakış açısının doğasında, sentetik biyoloji uygulamalarının toplumsal ve çevresel sorunların çözümüne olası katkısını abartma eğilimi bulunur.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Chan (2018)	Sentetik biyoloji, araştırma ve sağlık hizmetlerinin düzenlenmesindeki uluslararası tutarsızlıkları ve tedavi farklılığını ortaya çıkarması muhtemeldir. Sağlık hizmetleri, tıbbi tedavi, deneysel uygulamalar ve klinik araştırmaların bazı ülkelerde diğerlerinden daha sıkı düzenlenmesi, sentetik biyoloji kullanımında eşitsizliklere neden olur. Sentetik biyoloji tedavilerine yönelik araştırmalardaki kâr beklentisi, bu tedaviler için alıcı bir pazar sağlamada baskı yaratır. Bu baskı, sağlık uygulamalarında aktif pazarlamayı teşvik ederek, sentetik biyolojiye yönelik beklentiyi, anlayışı ve tutumu etkiler. Sentetik biyolojinin sağlık araştırmalarındaki ana itici gücün kâr olması, kullanıcıların altta yatan bilimi, içerdiği riskleri, sonuçları ve tedavilerin başarı beklentisi üzerinde zincirleme etkilere sahip olacaktır. Teknoloji üzerindeki ticari baskılar, sentetik biyoloji tedavisinin geliştiricileri, sağlayıcıları ve kullanıcıları arasındaki ilişkileri ve insanların bu tedavileri almayı seçecekleri koşulları değiştirecektir. Sentetik biyoloji tedavileri, test aşamasında iken hastalar potansiyel olarak yararlı bu yeni tedavi için denemelere girmek isteyebilirler. Bu durum hem klinik araştırma hem de tıp etiği ile ilgili “halen deneysel aşamada olan tedaviler hangi koşullar altında verilmeli” ya da “gönüllülerin klinik araştırmalarda yer almasına hangi koşullarda izin verilmeli” sorularını gündeme getirir. Bu bağlamda, riskin azaltılması ve yönetimi önemli hale gelir. Deneysel tedaviye ilişkin kararlara katılanlar sadece hastalar/katılımcılar ve klinisyenler/araştırmacılar değil, aynı zamanda ne tür araştırmalara izin verildiğine ilişkin yönergeleri belirleyen politika yapıcılar ve bu yönergeleri yorumlayan etik kurullardır.	Sentetik biyoloji turizmi Ticarileştirme Tüketimcilik Risk	Sentetik biyolojinin sağlık alanında kullanımıyla ortaya çıkan zorlukların üstesinden gelebilmek için, klinik araştırma, tıp pratiği, araştırmacıların/ klinisyenlerin ve katılımcıların/ hastaların rolleri ve bilim ve toplum arasındaki yeni etik anlayışları destekleyecek bir bilim etiği paradigmasına ihtiyaç vardır. Uluslararası düzenlemeler ve araştırmalardaki farklılıklardan ortaya çıkabilecek araştırma ve sağlık turizmi sorunlarının çözümü için küresel işbirliği gerekir. Bunun için önemli bir etken, bilim insanlarının ve uluslararası bilim topluluğunun iç davranış standartlarını belirlemesi ve bunları sürdürmek için kendi prosedürlerini teşvik etmesidir. Ticarileştirme konusunda erişimi sınırlandırma ve sentetik biyoloji tedavilerine yönelik toplumsal tutum, dikkatli bir şekilde değerlendirilmeli ve teknolojiye uygun erişimi sağlayacak (ve uygun olmayanları caydıracak) mekanizmalar geliştirilmelidir. Küresel işbirliği, teknolojiye erişim, araştırmalara daha fazla katılım ve açıklığı teşvik etmek için stratejiler geliştirilmelidir. Bilgi ve uygulama, bilimin bir ürünü olduğundan erişime açık ve toplumun yararına kullanılmalıdır. Sağlık teknolojisi hakkında bilinçli kararlar vermek ve bilime ilişkin bir anlayış geliştirmek için, bilgiye erişim açık olmalıdır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Stirling et al. (2018)	Sentetik biyoloji alanında araştırma ve yeniliklerin geliştirilmesinde etik açıdan sağlam teknoloji değerlendirme yöntemlerinin belirlenmesinde kâr-zarar analizi temel oluşturabilir. İhtiyat ilkesi de (olanaklı ise) daha iyi kararlar alınması için önemli bir ilkedir. Sentetik biyolojinin karmaşıklığı, çeşitliliği ve kapsamı, onu araştırma alanları içinde kendine özgü bir alan yapmaktadır. Bu durum aynı zamanda alanın dinamik ve hızlı değişimi ile ilgilidir. Bu bağlamda etik açıdan temel zorluk, farklı perspektiflerdeki olası seçenekler arasındaki çeşitli artı ve eksileri değerlendirmek ve bir bütün olarak toplum adına en iyi eylem planını haklı çıkarmaktır. Sentetik biyoloji gibi alanlarda beklenmeyen, çok sayıda ve kolay indirgenemez pek çok sorun kümesi bulunduğu için farklı yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Sentetik biyoloji için kâr-zarar analizi ve ihtiyat ilkesi yaklaşımlarının dışında çok kriterli haritalama yöntemi de sorunları ele almada kullanılabilir. Bu yöntem her sorunu çözmekle birlikte, özel olarak ihtiyat ilkesinin uygulanabilirliğini göstermek açısından iyi bir örnektir. Kâr-zarar analizindeki varsayılan riske ilişkin olasılıklı ve indirgemeci yaklaşıma karşın, ihtiyat ilkesinde belirsizliklerin tatmin edici bir şekilde indirgenemeyeceği kabul edilir. Bu bağlamda, ihtiyat ilkesi, düzenleyici değerlendirmenin doğası gereği normatif yönü olması gerektiğini varsayar ve sosyal değerlere kilit roller yükler. Bu durum, bilimin önemsiz olmadığını; ancak değerlerin ve öznel çerçevelerin de her zaman analizin bir parçası olması gerektiğini vurgular. İhtiyat ilkesinin iyi uygulamaları, çok sayıda değişkenli demokratik biçimi dikkate almayı gerektirir.	Kâr-zarar analizi İhtiyat ilkesi	Teknolojiye ilişkin değerlendirmelerde tek yöntem olarak kâr-zarar analizi gibi yöntemlere başvurmak yeterli değildir. İhtiyat ilkesi ve uygulamaları, daha geniş katılımlı ve değerleri de esas alan demokratik yaklaşımlar sunabilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Funk et al. (2019)	Sentetik biyoloji, “yaşam” terimi ile ilgili çok sayıda söylem ve metafor ile iç içe geçmiş bir alandır. Alanda hem yaşama ilişkin yeni bilgiler hem de yeni yaşamlar yaratmaya ilişkin bilgiler elde edilmektedir. Sentetik biyolojideki etik tartışmalarda yaşam kavramı ile yüzleşmek son derece önemlidir. Kavramın anlamını belirlemek alan ile ilgili eylemler açısından da belirleyicidir. Popüler ve kuramsal anlamların ötesinde yaşam kavramının somut en az iki anlamı vardır ve bunlar <i>burstword</i> olarak adlandırılabilir. Bunlardan ilki (<i>burstword I</i>), yaşam gibi kavramların uygun şekilde kullanılmaması durumunda anlamın net olmaması ile ortaya çıkar. Bu durumlarda anlam farklılaşır. Bu yaşam tanımında “genetik bilgi”, “yaşayan makineler” gibi metaforik söylemlerin kötüye kullanımı söz konusu olabilir. Disiplinlerin ötesine geçebilen bir anlamı bulunan <i>Burstword II</i>’nin disiplinlerarası önemli bir işlev bulunur; yaşam terimi, belirsiz ve popüler bir zeminden daha doğal bir zemine çekilir. Yaşamın doğallaştırılması ve sentetik biyolojide metodolojik indirgeme sayesinde terimin olumlu yönü açığa çıkarılarak daha sağlam bir epistemik anlama ulaşılır. Bilgi teknolojisi açısından metafor ile sadece yaşam değil, bilgi de temsil edilir ve yaşam terimi, <i>burstword II</i> anlamı ile örtüşür. Bu sosyal yaşam/davranış biçimleri dahil yaşamın anlamı doğallaştırılır. <i>Burstword II</i>, yaşam terimi ile ilgili etik sorunlardan, etik köktencilikten ya da aşırılıklardan nasıl kaçınabileceği ile ilgili argümanları içerir.	Yaşam teriminin anlamı	Yaşam terimi farklı şekillerde kullanılan dinamik bir kavramdır. Ancak kavramın teknobilimsel anlamda açık kullanımı, alana ilişkin iletişim ve araştırmalar açısından önemlidir. “Yaşam” terimine ilişkin anlam karmaşaları ve belirsizlik etik ve diğer konular açısından riskler ve tehlikeler içerebilir. Bu bağlamda, anlamdaki kargaşa ve belirsizlik metodolojik olarak azaltılmalıdır. <i>Burstwords II</i>, anlamı daha belirgin ve diğer alanlarda da kullanıma olanak veren bir içeriğe sahip olmalıdır. Bu kavram yaşama ilişkin daha kontrol edilebilir bir kullanıma sahiptir. Yapıcı ve geliştirici metaforları içerebilir. Anlayışı genişleterek yeniliklere ve paradigma değişikliklerine; farklı disiplinlerce anlaşılmasına ve çalışmaya olanak verebilir. Tüm bu değerlendirmeler sentetik biyoloji ve yaşam ile ilgili tartışmalarda kutunun dışına çıkıp bir bakış üretmek ve yeni düşünce olanakları geliştirmekle de ilgilidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Gómez-Tatay et al. (2019)	Yaşamın farklı tanımlarına rağmen, sentetik biyoloji, yaşamı tanımlarken öne sürülen özelliklerin hiçbirini ortadan kaldırmaz. Dolayısıyla, sentetik biyoloji ürünleri, doğal veya yapay kökenine ve tasarım ve üretimdeki amaçlarına bakılmaksızın organizma olarak kabul edilmelidir. Bunlar sentetik organizma olarak adlandırılabilir. Ekosistemin ve çevrenin korunması ilkesi, biyolojik çeşitliliği ve çevreyi korumayı ve kimi insan çıkarları için gerekli değilse (ahlaki olarak doğru olması koşuluyla), insan dışındaki organizmaların çıkarlarına müdahale etmemeyi zorunlu kılar. Bu nedenle, organizmanın çıkarları olduğu gibi hesaba katılmalıdır. Bu organizmanın sentetik olmasaydı ne kadar iyi bir hayat yaşayabileceği düşüncesinin kişiselci görüşe göre, ahlaki olarak bir önemi yoktur. Diğer canlılar için içsel öznel değer, içsel nesnel değer ve içsel değerlerin tanınması, ahlaki değer ile ahlaki statü ayrımı ile tutarlı olarak, bu canlıları insanların ahlaki değerleri ile eşitlemez. Kişiselci görüşe göre, doğal organizmalar ile sentetik olanlar arasında değer farkını tartışmak için bir neden yoktur. Ekosistemin ve çevrenin korunması ilkesine göre her bir bireyin çıkarlarını korumak zorunludur.	Yaşamın tanımı	Sentetik varlıkların ahlaki değere sahip olup olmadığını belirlemek için organizma ya da makine ayrımı yapılmalıdır. İçkin amaçları temelinde, kendi kendini oluşturan, kendini koruyan, kendi kendini yeniden üreten ve kendi kendini idare eden bu varlıkların, kökenleri ve üretimlerindeki amaçlar ne olursa olsun organizma olarak kabul edilir. Bütün organizmaların amaçlarının olduğu ve kişiselcilik açısından tüm canlıların doğası gereği değerli olduğu düşünüldüğünde, amaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Sentetik organizmaların tasarımlarının ahlaki bir önemi yoktur. Korunması gereken biyolojik çeşitliliğin bir parçası olmadıkları için, sentetik türlerin korunması ahlaki bir görev değildir. İnsan çıkarlarının diğer canlı organizmaların çıkarlarından üstün olduğu dikkate alınarak kişinin önceliği her zaman gözetilmelidir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Heidari Feidt et al. (2019)	Sentetik biyoloji, hem biyomedikal araştırmalarda umut veren ve önemli yatırımlar yapılan hem de klinik uygulamalarıyla hastalara yarar sağlaması beklenen bir alandır. Bu bağlamda sentetik biyoloji araştırmalarının translasyonel (uygulama ve pratiğe geçiş) yönü dikkat çekicidir. Bu araştırmalarda uygulamaya geçiş hem klinik hem de etik açıdan anlamlıdır. Bununla beraber, sentetik biyolojinin uygulanabilirliğinin etik ve sosyal sonuçları göz ardı edilmemelidir. Bu çalışmalar, topluma ve dünya sağlığına yarar sağlamak açısından önemlidir ve bu nedenle araştırmalar ile uygulama arasındaki boşluğun azaltılması gerekmektedir. Toplum, araştırmacılar, fonlayıcılar ve yasa düzenleyiciler bir yandan zararları önlemeye dikkat ederken sentetik biyoloji araştırmalarının uygulanabilirliğini teşvik etmeleri ahlaki bir yükümlülüktür. Buna translasyonel buyruk adı verilmiştir. Araştırmaların uygulanabilirliği açısından temel zorluklar, fonlama, ekonomik, akademik, kurumsal zorluklar, etik onay ve yasal sorunlar olabilir. Translasyonel araştırmalardaki önemli konu, sürecin uygulamaya geçişi ile ilgilidir. Bu bağlamda, etik hem sorunlara ilişkin bir duyarlılık sağlar hem de bu türden çalışmaların kamuya ve topluma yarar açısından gelişimine olumlu bakabilir. Özellikle yararcı bakış açısıyla bu çalışmaların etik olarak teşvik edilerek topluma ve küresel ölçekte insanlığa yarar sağlanması beklenebilir. Bu, zarar ve riskler açısından dengeleyici bir etik değerlendirme gerektirir.	Ahlaki yükümlülük Translasyonel buyruk	Toplumun araştırmacıların, fonlayıcıların ve yasal düzenleyicilerin bir yandan zararları önlemeye dikkat ederken sentetik biyoloji araştırmalarının uygulanabilirliğini teşvik etmeleri bir ahlaki yükümlülüktür.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Holm (2019)	Sentetik biyoloji eşik değerinin olduğu bir teknoloji alanıdır; olumlu gelişmelerle birlikte beklenmeyen sonuçlara da açıktır. Bu bağlamda, alana ilişkin dikkatli davranmak ve ihtiyatlı olmak gerekir. Sentetik biyoloji ve düzenlemeleri ile ilgili karar süreçleri önemli bir tartışma konusudur. Bu alandaki kararlar veya izinler; laboratuvar araştırmalarını, çevreye neyin salınabileceği, insanlar üzerinde nelerin kullanılabileceğini, sentetik biyoloji ürünlerinin ticarileşmesini, bilgiye ve teknolojiye erişimi ve bunların olası sonuçlarını içerir. “Karanlık içinde karar verme” belirsizlik ve riskler altında karar vermektir. Bazı yazarlara göre, böyle bir karar verme sürecinde “karar verme ve erdemli davranma”nın önemli özelliklerini yeterince kapsamadığı için ihtiyat ilkesine başvurulmamalıdır. İhtiyat ilkesi sentetik biyolojinin yararlarını minimize etme ya da görmeme eğilimindedir. Bu da bir erdem olan cesareti azaltır. Bu bağlamda erdem temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Ancak, düzenleyicilik bağlamında sentetik biyolojiye erdem temelli bir yaklaşımın nasıl anlaşılacağı belirsizdir. Yine erdem etğinin bireysel özelliklere vurgulayıcı yanının sentetik biyoloji gibi kurumsal karar ve düzenlemelerde ne şekilde işe yarayacağı da açık değildir. Dolayısıyla erdem yaklaşımı, ihtiyat ilkesinin güçlü bir alternatifi değildir. Orantısız olarak zarar, bilgi ve önerilen önlemler veya bir yöne ağırlık vermekten ziyade genel tutarlılık dikkate alınabilir ve sadece zarara odaklanmak yerine süreç karşı senaryolarla (örneğin genel toplumsal yarar gibi) dengelenebilir. Dolayısıyla ihtiyat ilkesi sadece olumsuz sonuçlara odaklanmak zorunda değildir. Farklı alanlarda farklı uygulamalara da olanak verebilir.	İhtiyat ilkesi Karanlıkta karar verme Erdeme dayalı karar verme	İhtiyat ilkesinin sentetik biyolojide karar vermede kullanımının eleştirilmesi ve erdem yaklaşımının önerilmesine rağmen, erdem yaklaşımı belirsiz ve sentetik biyolojide ne anlama geldiği net değildir. Bunun yanı sıra ihtiyat ilkesinin farklı kullanımlarının halen sentetik biyolojide düzenlemeler ve karar süreçleri için etkili bir yaklaşım olduğu iddia edilmiştir. Ancak yine de ihtiyat ilkesi bütünüyle eleştirilere kapalı değildir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Coyne (2020)	Organizmaların kendi kendilerine örgütlenmelerinde ve amaçlı davranışlarında içkin teleolojik bir amaç vardır. Belirli varlıklar bir organizmanın bu amaçları gerçekleştirmesini sağlarken; diğerleri onu engeller. Dolayısıyla, her organizmanın öznel iyi ve kötü bir mantıksal zorunluluğu vardır; çünkü bir şey, amaçlarının tatminine veya başka türlüüne göre onun için daha iyi veya daha kötü olabilir. Sentetik bir organizma, organizma olarak insan sayesinde var olsa da, bir kez yaratıldıktan sonra kendisi için var olur. Bu organizma, yaratılış amacına uygun olarak belirli işlevleri yerine getirirken, yaşayan bir varlık olarak var oluşunu sürdürme çabasında yine amaçlı davranışlar gösterecektir. Bu organizmaların “nihai” çıkarları sentetik biyologlar tarafından tanımlanmıştır; ancak kendi “yakın” çıkarları da vardır. Bu varlıklar, yakın çıkarları aracılığıyla araçsal bir değere ve dolayısıyla içsel değere sahiptir. İçsel bir değer tanımlanması için önemli olan, bir varlığın doğal mı yoksa insan tarafından mı tasarlanmış olduğu değil; onun canlı olup olmamasıdır.	Erdem etiği Teleoloji İçkin değer	Yeterli bir yaşam felsefesi, sentetik organizmaların aksiyolojik bir analizi için önemlidir. Bu, sentetik organizmaların araçsal ve dışsal bir değere değil, aynı zamanda yalnızca canlı varlıkların sahip olduğu içsel bir değeri de olduğunu öne sürer. İyi yaşamı ve iyi toplumu merkezine alan erdem etiği, bahsedilmiş yaşamın kabulü ve mükemmelliğe gidişin ahlaki önemini açıklayabilir. Bu bakış açısı, sentetik biyolojinin toplu feragat için başlıca aday olduğunu ortaya koymaktadır.
Kotzé (2020)	Sentetik biyoloji uygulamaları iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin kaybı ve türlerin yok olması gibi süper kötü huylu sorunlarla başa çıkmada kullanılabilir. Hristiyan ekoteolojisinde yer alan karşılıklı bağımlılık ve ilişkisellik kavramları, hem sentetik biyolojinin etik değerlendirmesinde yardımcı olabilir hem de süper kötü huylu bir sorun olan iklim değişikliği ve bunun sonucunda ortaya çıkan türlerin yok oluşuna yanıt verme girişimi olarak kullanılabilir.	Kötü huylu sorunlar Hristiyan ekoteolojisi	Sentetik biyolojinin, iklim değişikliği ve bunun bir sonucu olarak türlerin yok olması gibi süper kötü huylu sorunlara çözüm olma olasılığı, sorunları daha da kötüleştiren bir girişime de neden olabilir.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Rohregger et al. (2020)	Sentetik biyoloji gıda teknolojilerinden yeni organizmaların yaratılmasına kadar pek çok alanda uygulaması olan ve hem umut hem de riskler barındıran bir disiplindir. Özellikle doğada var olmayan DNA'ların oluşturulması ve manipülasyonundan kaynaklanan yararlar, riskler ve yaşama yönelik tehditler biyoetik alanının konusudur. Sentetik biyoloji veya teknoloji konusunda geleceğe yönelmiş etik değerlendirmeler, sadece devletlere ya da politikacılar bırakılmamalı; toplumlar da gelişmeleri etik açıdan değerlendirmelidir. Sentetik biyoloji özelinde teknobilimdeki ilerleme, etik açıdan uygun değerlendirmeler yapılmadan, gelecekte meydana gelen sosyal gelişmeleri, çevrenin korunmasını, insan onurunu ve biyosfer yaşamını tehlikeye atan sonuçlar üretebilir. Olumlu beklentiler, olası olumsuzlukları gölgelememelidir. Bu bağlamda etik değerlendirmeler ve rehberlikler temel bir sorumluluktur. Aynı zamanda biyoetik, insan yaşamının devamlılığı için teknoloji ile bilim arasında bir köprü olmalıdır. Sentetik biyoloji iki yönlü ve karmaşık bir içeriğe sahiptir; alan ile ilgili umutlar aynı zamanda tehdit ve riskler de içerir. Bu karmaşıklık ve belirsizlik içinde ihtiyat ve sağduyu, yol gösterici bir erdem olabilir. Sorunların çözümü için öncelikle dualistik kartezyen görüşten vazgeçilmelidir. Çünkü canlılık ve organizmalar dualistik olarak indirgenemezler. Yaşam, içinde bir öngörülemezlik ve değişkenlik içerir. Dolayısıyla, her şeyi öngörmek mümkün değildir ve geleceğe yönelik bir risk daima vardır.	Risk Sorumluluk Sağduyu ve ihtiyatlılık	Sentetik biyolojinin özelliği bir şeyleri başaramamakla ilgili değil; aksine güç ve gururdan ve yapabilmekten kaynaklanan bir gücüdür. Sentetik biyolojinin teknolojik gücü, sonuçlarının öngörülemezliği, güç ve gurura dayalı riskler nedeniyle alanda sağduyu ve ihtiyat erdeminin önemli bir yer edinmelidir. Bu sorumluluk, sadece bireylerle sınırlı olmamalı; bireyden çok politik-kolektif olmalıdır. Bu nedenle bilim insanının (ve araştırmayı finanse edenlerin) sorumluluğunun yanı sıra yasa koyucu da sorumluluk almalıdır. Yenilik ve gelişmelerde sağduyu ve ihtiyat uygulamaları her yeni durum için dikkate alınmalı; toplum süreci dahil edilmeli ve süreçler olabildiğince şeffaf olmalıdır. Bu bağlamda bazı metinlerde (ABD, İspanya, Brezilya, Portekiz vs.) ortaya konulduğu üzere sentetik biyoloji bazı ilkelerle hareket etmelidir: (1) toplumsal yarar; (2) sorumlu yönetim; (3) entelektüel özgürlük ve sorumluluk; (4) demokratik katılım; (5) ihtiyat ilkesi; (6) (sonuç ve gelişmelerin) izlenebilirlik ilkesi; (7) adım adım ve olguya özel olma ilkesi. Bu ilkelere başka ilkelerin de eklenmesi, toplumsal yarar ve yaşamın korunmasını sağlar: (8) topluma zarar vermeme; (9) adalet ve risklerin orantısız dağıtımı; (10) hükümetlerin sorumluk alması; (11) risk maksimizasyonu (kazalardan, genetik olarak sentezlenmiş organizmaların istenmeyen gelişimi de veya ikili kullanım olasılığından kaynaklanabilecek risk ve sorunların maksimize edilmesine öncelik verilmesi); (12) geri döndürülebilirlik ilkesi

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Sandler (2020)	Sentetik biyoloji, genetik mühendisliği ve gen sürücülerinin çevrenin korunması bağlamında etik konular, yararlar ve riskler, fırsat maliyetleri ve karar verme süreçlerinin sorumlu bir şekilde kullanılıp kullanılmayacakları ile ilgilidir. Teknoloji etkili, riskler kabul edilebilir ve yönetilebilir, yararlar maliyetlerden fazla, fırsat maliyetleri çok yüksek değil, gözetim mevcut ve kamu desteği yeterli ise, sentetik biyoloji, genetik mühendisliği ve gen sürücülerini, bazı durumlarda, istilacı türlerin yok edilmesi ve hastalık direncinin artırılması gibi bilinen koruma yöntemlerine ulaşmada iyi gerekçeli bir araç olacaktır. Gelişmekte olan güçlü teknolojilerin etik analizi, bu teknolojiler hem araç hem de potansiyel yeni yaşam biçimi olarak kabul edilmedikçe eksik kalır. Bu durum, sentetik biyoloji, genetik mühendisliği ve gen sürücülerini için geçerlidir. Bu teknolojiler ile değer, anlam, önem, bakış açısı ve koruma kavramlarının yeniden yorumlanma olasılığı vardır ve koruma etiği açısından ilgi çekicidir. Antropojenik değişime uyum sağlamak için sentetik biyolojiyi kullanmak, genellikle ahlaki tehlike ve bir soruna teknolojik çözüm ile ilişkilidir. Sorunların altında yatan nedenleri ele almadan, etkilerinin teknolojik olarak ele alınabileceği inancı olarak görülebilir. Türleri yaratıcı bir şekilde tasarlamak için gücün kullanılıp kullanılmayacağı ve nasıl kullanılacağı, gücün insanlığın dünya ile ilişkisini yeniden yapılandırma potansiyelini göz önünde bulundurmayı gerektirir. Bunu benimsemek, koruma bağlamlarının ötesine geçebilecek insan-doğa ilişkisine dair roller, sorumluluklar, tutumlar ve bakış açıları üstlenmeyi içerir.	Koruma etiği	Sentetik biyolojinin koruma kullanımına ilişkin tartışmada, teknolojiye ilişkin bakış açısı hakimdir. Bu nedenle etik tartışma, riskler ve yararlar, fırsat maliyetleri, karar verme süreçleri ve toplumun katılımı ve kabulü üzerine odaklanmıştır. Bununla beraber, bir yaşam biçimi olarak teknoloji bakış açısı da sosyal ve etik boyutları analiz etmede önemlidir. Sentetik biyoloji, özellikle yabani popülasyonlarda kasıtlı olarak genetik değişimi düzenlemek için kullanıldığında, yeni bir koruma uygulaması şekli oluşturabilir. Böylece, güç, anlam, değerler ve dünya görüşleriyle ilişkili sorunlar da gündeme gelir. Yabani popülasyonlar aracılığıyla genetik değişimi yönlendirme gücü, diğer koruma yaklaşımlarından önemli ölçüde farklıdır. Organizmaların nasıl olması gerektiği konusundaki inançlara uygun olarak, biyolojik dünyanın genomik düzeyde yeniden modellenmesini sağlar. İnsan failliği aralığındaki bu niteliksel farklılık, tıpkı ilgili riskler ve belirsizlikler gibi, dikkatli ve ihtiyatlı olunmayı gerektirir. Hem araçsal hem de yaşam biçimi konularını içeren kapsamlı etik analizler, genelde ve belirli projelerle ilgili olarak koruma genetik mühendisliği söyleminde büyük ölçüde eksik kalmıştır.

Çizelge 3.3. Dahil edilen yayınlar (devam)

Künye	Etik Tartışma	Öne Çıkan Kavram/lar	Varsa Sonuç ve/veya Öneriler
Vallero et al. (2020)	Sentetik biyoloji de dahil, gelişen biyoteknolojilerin uygulanması, çevre mühendisliği alanında yararlarının yanı sıra insan sağlığı ve çevre ile ilgili riskler içerir. Bu uygulamaların yapılıp yapılmayacağı ya da nasıl yapılacağına ilişkin belirsizlikler oldukça zorlayıcıdır ve bunlar geleceğe yönelik akış aşağı etkisi içerebilir. Çevre mühendisleri, önceden tahmin edilmesi zor olan istenir ve istenmeyen sonuçları incelemek için zaman ve mekandaki karmaşıklıklar ile ilgili yöntemler kullanmalıdır. Yeni teknolojiler ve belirsizlikler için yeni risk değerlendirme yöntemleri gündeme gelmiştir. Bunlar fayda maliyet oranının yanı sıra minimalist model, makul dikkat modeli ve iyi çalışma modelidir. Minimalist model, temelde alandaki profesyoneller için yayımlanmış etik kodlara ve standartlara uymakla ilgilidir. Bu bağlamda, standartların dışındaki eylemler malpraktis kavramı ile açıklanır. Daha çok retrospektif bir bakışa ve sorunlara odaklıdır. Bu model, alanda sürekli değişim ve dinamizm olduğundan özellikle gelişen teknolojiler için yeterince kullanışlı değildir. Makul dikkat modeli minimalist model ile benzer olmakla beraber, sorumluluk ve ihtiyat ilkelerinin mühendislik pratiğine uygulanması bakımından bu modelden ayrılır. Sorumluluk kavramını objektif olarak tanımlamak zor olsa da, bu model yüksek standartlara sahip mühendislik uygulamaları için uygundur. İyi çalışma modeli, belli durumlarda etik karar verme süreçlerinin standartların ötesine geçerek, iyi mühendislik uygulamalarını sağlaması, toplum sağlığını ve sosyal iyiliği dikkate almasıdır. Bu model, proaktif ve koruyucu etik eylemlerin tasarım süreçlerine eklenmesidir.	Risk değerlendirme Gelişen teknolojiler ve sentetik biyolojide iyi mühendislik uygulamaları Teknolojide etik değerlendirme	Çevre mühendisleri gelişen biyoteknolojiler ve sentetik biyoloji uygulamalarını olumlu sonuçlar almak için kullanmaktadır. Ancak bu uygulamalar, olası olumsuz sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle çevre mühendisleri uygulamalar süresince etik sorumluluğa özen göstermelidir. Bu, olası yararların yanında olası zararları, ekolojik sorunları ve halk sağlığını gözetmeyi gerektirir. Sentetik biyoloji ve gelişen biyoteknolojilerin uygulama alanları değişken olduğundan farklı etik değerlendirme modelleri kullanılabilir. Gelişen teknolojiler düşünüldüğünde, sadece malpraktise yönelen modellerden ziyade sistematik ve koruyucu yaklaşımların öne çıkar. Yine de evrensel olarak her durumda uygulanabilir bir modelden bahsetmek zordur. Etik değerlendirme modelleri gelişen teknolojilerde olabildiğince erken dönemlerden itibaren sürece dahil edilmelidir. Böylece daha önceden düşünülmeyen ve öngörülme-yen etik sorunlara ilişkin bir farkındalık oluşur.

Çizelge 3.4. Tematize edilmiş veri

Tema	Temayı ortaya çıkaran ana kavramlar
Sentetik biyoloji ürününün ahlaki konumu	- İçsel değer - Araçsal değer
Sentetik biyoloji ve yaşamın ne’liği	- Yaşamın anlamı - Yaşamın değeri - Doğal-yapay ayrımı - Sentetik biyolojinin teknolojik bir yenilik “yaratma” faaliyeti olarak görülmesi - Evrimsel sürecin değişimi
Sentetik biyoloji ve metaforlar	- Makine metaforu - Tanrı’yı oynama
Sentetik biyoloji ve bilgi	- Bilginin dağıtımı - Üretilen bilginin anlamı ve etik açıdan önemi - Bilgi etiği - İkili kullanım - Fikri mülkiyet
Sentetik biyolojiye ilişkin beklentiler kaygılar ve sorun çözme yolları: Riske karşı ihtiyat	- Sentetik biyolojinin potansiyel yarar ve zararları - Yararcılık - Fayda paylaşımı - Sonuçsalcılık - Ahlaki yükümlülük - Proaktif yaklaşım - İhtiyati yaklaşım - Biyogüvenlik - Biyoemniyet - Biyoterörizm - Ticarileşme - Sentetik biyoloji turizmi - Risk değerlendirme - Fiziksel zarar - Fiziksel olmayan zarar - Meslek etiği - Pratik etik - Karanlıkta karar verme - Zorunlu sorumluluk - Güvenli tasarım - Ortak sorumluluk - Koruma etiği - İyi mühendislik uygulamaları - Teknolojide etik değerlendirme - Yönetişim önlemleri - Müzakereci yaklaşım - Sosyal farkındalık - Adil dağılım

4. TARTIŞMA

Sentetik biyoloji, günümüzde kendine uygulama alanı bularak farklı ihtiyaçlara çözüm önerileri geliştirebilecek potansiyele sahip, yeni biyolojik sistemlerin kontrolünü, tasarımını ve sentezlenmesini amaçlayan ve temelde biyoloji ve mühendislik ilkelerini kullanan bilimsel ve teknolojik bir alandır. Biyoteknolojinin devamı olarak nitelendirilse de biyoteknolojik gelişmelerden farklı olarak doğa ve yaşam kavramlarının yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir.

1970 ve 1980'lerden itibaren özellikle rekombinant DNA teknolojisindeki gelişmeler, moleküler klonlama olanakları ve polimeraz zincir reaksiyonu gibi yöntemler, bir türün bireylerinde istenen özellikleri kodlayan genlerin izolasyonunu ve bu genlerin başka bir türün genomuna eklenmesini sağlamış ve bu durum, bir paradigma değiştirici olarak görülmüştür (Keiper ve Atanassova, 2020). Sentetik biyolojiyi farklı kılan, etik tartışmalar açısından önemli olan birtakım özelliklerinin oluşudur. Sentetik biyoloji ile birlikte bilim insanları rasyonel tasarlama olanaklarına ve gücüne sahip olmuştur. Bunun yanı sıra, biyolojik sistemleri ve organizmaları yaratma olasılığı elde edilmiştir. Bütün bunların pratik uygulamalara sahip olduğunu söylemek de mümkündür (Häyry, 2017).

Sentetik biyolojinin genetik tasarım aşamalarında elde edilen bilgiler, yaşama ilişkin aydınlatıcı rol oynamakta, hastalıkların nedenlerini anlamak ve tedavi ve ilaç geliştirme konusunda bilgi sağlamaktadır (Beitz ve ark., 2022). Sentetik biyoloji uygulamaları aynı zamanda endüstri tarafında da ilgiyle takip edilmektedir. Henüz bütünüyle yapay bir hücre yaratılamamış olsa da sentetik genom yaratılması ve hücre içine yerleştirilmesi başarıyla gerçekleştirilmiştir (Melin, 2021). İnsanlık tarihi içinde bilimsel açıdan en önemli adımlardan biri olarak değerlendirilebilecek bu türden olanakların etik ve sosyal sonuçlarının olması ve üzerinde tartışmalar yürütülmesi kaçınılmazdır. Alanın dinamik yapısı düşünüldüğünde, yeni tartışma ve gelişmelerin de sürekli gündemde olacağı ise bir gerçektir.

Bu bağlamda, bu tez çalışması ile sentetik biyoloji uygulamalarının ortaya çıkışı ile birlikte “*sentetik biyoloji alanına ilişkin temel etik tartışmalar ve bu tartışmaların genel içeriklerinin neler olduğu*” sorusuna cevap aranmıştır. Bu amaçla sistematik derleme yöntemi kullanılarak mevcut literatür incelenmiştir.

Genel olarak sentetik biyolojinin farklı bir tanım ve anlama sahip olduğu düşünüldüğünde, konuya ilişkin farklı kavramlar içindeki tartışmalardan ziyade doğrudan bu konuya ilişkin tartışma ve kavramsallaştırmanın ortaya konulması önemlidir. Çünkü sentetik biyoloji kavramı biyoloji alanından bireyler açısından da zaman zaman farklı kategoriler içinde anlaşılmaktadır. Bu anlamda bu tez çalışmasının bütünlüklü bir bakış sağlamaya ilişkin önemli bir adım olduğu söylenebilir.

Araştırma sorusu ekseninde yapılan tarama sonucunda bulgular bölümünde de ayrıntılı olarak ortaya konulan içeriğin (1) sentetik biyoloji ürününün ahlaki konumu; (2) sentetik biyoloji ve yaşamın ne’liği; (3) sentetik biyoloji ve metaforlar; (4) sentetik biyoloji ve bilgi ve (5) sentetik biyolojiye ilişkin beklentiler, kaygılar ve sorun çözme yolları: riske karşı ihtiyat olmak üzere beş farklı temada ön plana çıktığı görülmüştür.

Sentetik biyolojinin etik boyutunu inceleyen yayınların (yayın türünden bağımsız olmak üzere) özellikle 2011 yılından itibaren bir artış göstermesi dikkat çekicidir. Bu durumun alanın yapılabilirliğinin 2010 yılında J. Craig Venter tarafından gösterilmesi ile uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca yayınların konularına bakıldığında günümüze daha yakın tarihli olanların daha çok pratik çözümlere yönelik olduğu; erken dönemlerde ise daha çok kuramsal ve felsefi çalışmalar üzerinde odaklanıldığı görülmüştür. Yine daha yakın dönemlerde ampirik çalışmaların görece fazla olduğu; bu durumun alanın gelişmesi ve uygulama alanlarının daha gözle görülür olması ile paralellik gösterdiğini söylemek mümkündür. Pratik uygulamalar sırasında ortaya çıkan ya da çıkabilecek olası zararlar veya risklere karşı etik söylemler ise önem kazanmaktadır.

Yayınların çoğunun Batı kaynaklı olduğu ve sentetik biyoloji ile ilgili çok farklı disiplinlerde çalışan araştırmacılar tarafından yazıldığını söylemek mümkündür. Aynı zamanda sentetik biyolojiye ilişkin teolojik tartışmaların yürütüldüğü de görülmüştür. Bu bağlamda Yahudilik ve Hıristiyanlığın farklı mezheplerinden görüşlere yer verilmesine rağmen, İslam ile ilgili herhangi bir yayına rastlanılmamıştır.

İlginç bir şekilde, elde edilen yayınların hiçbirinde sentetik biyolojinin yapılabilirliğine dair yapılan tartışmalarda doğrudan olumsuz bir tutum ya da görüşe rastlanılmamıştır. Tartışmalar, sentetik biyolojinin uygulanabilirliği açısından yararcılığa dayalı olumlu beklentiler olmakla birlikte, bunları dengelemek için çeşitli önlemler alınması gerektiğini ifade eden (bizce temelde olumlu) bir yelpazeye yayılmıştır. Kısacası, sentetik biyoloji çalışmalarını bütüncül olarak etik açıdan gerekçelendirilemez bulan bir yaklaşıma rastlanılmamıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde 2010 yılında yayımlanan sentetik biyolojiye ilişkin önemli bir metin olan *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies* adlı raporda özellikle yaşamın anlamı, sentetik biyolojinin ne'liğine dair öneriler veya tartışmalar son derece sınırlıdır (Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010). Ancak literatürde konunun önemli bir yer tuttuğu görülmüştür. Bu kısmen bu raporun pratiğe yönelik ve ilk metinlerden olmasıyla alakalı olabileceği gibi, etikçi veya felsefecilerin daha çok kuramsal yönelimleri ile de ilgili olabilir. Bu bağlamda bu tez çalışmasında daha önce de bahsedildiği üzere, trendin değişiminin zaman içinde sentetik biyolojinin uygulanabilirliğinin belirgin hâle geldiği yönündedir.

Bu noktada önemli olan bir konu, insanın bir tehne sahibi olarak kendi yararına yönelik girişimlerinin kaçınılmaz yanıdır. Bu bağlamda, sentetik biyoloji açısından yapıp ettiklerimiz geri döndürülemez bir noktadadır. Yayınlardaki tartışmalarla olumsuz bir görüş bulunmaması buna bağlanabilir. Risk ile dengeleme girişimler ile ilgili söylemler ise hem alanın sürdürülebilirliği ile ilişkili hem de

Potter ve Jonas gibi biyoetikçilerin insan-doğa ve tüm var oluşa ilişkin kaygılarıyla da bağlantılı olabilir. İhtiyat ilkesi gibi özgü yaklaşımlara yapılan vurgu bu kaygı ile bağlantılı görünmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenen makalelerden sentetik biyoloji ürünü ya da sentetik canlıların ahlaki konumu bağlamındaki tartışmada, içsel değer ve araçsal ya da dışsal değer öne çıkan kavramlardır.

İçsel değer bir varlığın kendi içinde veya bir amaç için sahip olduğu değerdir (Sandler, 2012). Filozoflar tarafından farklı şekillerde tanımlamalar yapılmış olsa da içsel değer, bir şeyin başka bir nedene bağlı olmaksızın doğrudan o şeyin kendi başına sahip olduğu bir şeydir (Zimmerman ve Bradley, 2019). Araçsal değer ise bir şeyin arzulan veya değer verilen bir amaç için araç olarak sahip olduğu değerdir. Araçsal değer, her zaman başka bir şeyin değerinden türetilir ve her zaman koşulludur. Bir şeyin araçsal değeri, aracı olduğu amacın arzu edilirliğindeki değişikliklere ve alternatif daha verimli araçların mevcut olup olmadığına göre değişkenlik gösterir (Sandler, 2012). Araçsal değerler, filozoflar tarafından genellikle içsel değer kavramını açıklamak için ortaya atılmıştır (Rønnow-Rasmussen, 2015).

İçsel ve araçsal değer arasındaki ayrım, çevre etiği literatüründe uzun bir geçmişe sahiptir (Bedau ve Larson, 2013 ve Preston, 2013). Bu ayrım, doğada bulunan ve insan ihtiyacına veya amacına hizmet eden değerler ile herhangi bir insan arzu veya ilgisinden bağımsız olarak doğada var olduğu düşünülen değerler arasında ayrım yapmaya hizmet etmektedir. Ayrımın bu kadar belirgin olmasının nedeni, pek çok düşünürün yalnızca doğanın içsel değerini kabul eden bir etiğin gerçek bir çevre etiği olduğunu düşünmesidir (Preston, 2013).

Çevre etiği gibi sentetik biyoloji de insan dışındaki varlıkların içsel değerini ve yapaya karşı doğalın normatif önemini tartışmaktadır. Sentetik biyoloji tarafından ortaya atılan eşik soru, organizmaların sentezinin doğanın içsel değerine uygun olup olmadığıdır (Bedau ve Larson, 2013).

Çağdaş sentetik biyoloji, özellikle aşağıdan yukarıya yöntem ya da proto hücreler, sentetik formlarının kasıtlı, bilinçli ve rasyonel bir biçimde daha önce karşılaştırılmayan bir kontrol esnekliği ve kesinliğiyle tasarlanmasına ve inşa edilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, sentetik yaşamın yaratıldığı bu inşa süreci, tüm doğal yaşam biçimlerini üreten doğal evrim sürecinden tamamen farklı olabilir (Bedau ve Larson, 2013).

Link (2013)'e göre, sentetik biyolojinin yaşamın sözde içsel değeriyle nasıl çatışabileceği sorgulanmalıdır. Bu bağlamda, sentetik biyolojinin ahlaki olarak sorgulanabilmesi için öncelikle yaşamın kendi içindeki değeri ve sentetik biyolojinin bu değerlerle ilişkisine odaklanılmalıdır. Organizmaları belirli amaçlar için tasarlamak ve üretmek, onlara araçsal bir şekilde davranılması veya teloslarına saygı gösterilmemesi anlamına gelmemektedir. Yaşamın içsel değerine zarar verme anlamında herhangi bir değeri ihlal etmesi, sentetik biyoloji özelinde söz konusu değildir. Yaşamın içsel değerine başvurmayı anlamlandırmanın tek yolu, onun zarardan korunma ile olan yakın ilişkisinin ortadan kaldırılması olacaktır.

Bir diğer görüşe göre, hemen hemen her şeyin araçsal veya dışsal bir değeri olabilir; bunlar değer biçen kişinin amaçlarına ve bakış açısına bağlıdır. Bu türden değerlerin sentetik canlılarda da bulunmaması için bir neden yoktur; hatta araçsal bir değere sahip olmaları, onların var oluş nedenidir. Bununla beraber, her ne kadar amaçları insan tarafından belirlenmiş olsa da, bir sentetik organizma bir kez yaratıldığında, kendisi için var olmaktadır. Ancak, yaşayan bir varlık olarak varlığını sürdürme çabasında yine amaçlı davranışlar gösterecektir. Bir diğer deyişle, nihai çıkarları sentetik biyologlar tarafından tanımlanmış olsa da bu varlıkların kendi yakın çıkarları da söz konusudur. Bu varlıklar yakın çıkarları aracılığıyla araçsal bir değere; dolayısıyla içsel bir değere de sahiptir. Bu bağlamda, içsel değerinin tanımlanmasında önemli olan, bir varlığın doğal mı yoksa insan tarafından tasarlanmış mı olduğu değil, onun canlı bir varlık olmasıdır (Coyne, 2020).

Sentetik biyolojinin alternatif yakıtlar, biyolojik olarak parçalanabilen plastikler, biyosensörler ve aşılarda tıpta kullanılabilir olması veya çevresel kirlenmelerin ayrıştırılmasında yardımcı olabileceği pek çok yararlı amacı bulunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, sentetik biyoloji ürününün araçsal bir değere sahip olduğunu söylemek mümkündür. Bununla beraber, sentetik canlıların insanlar için sağlayabilecekleri kullanımlarından bağımsız olarak onları yaratmak için nedenler sağlayacak bir içsel değere de sahip olup olmadığı araştırılmalıdır.

Ahlaki olarak bir varlığın içsel değere sahip olması, ona ilişkin ahlaki yargıları da etkilemekte; dışarıdan bir değer atfetmeden de ahlakilik açısından basit bir nesneden farklı olarak konumlandırmayı gerektirmektedir. Ahlaki statü ile ilgili bu içeriğin özellikle sentetik biyoloji ve yaşamın ne'liği konusunda ortaya çıkan söylemlerle yakın ilişkili olduğu söylenebilir. Sentetik biyoloji ürününün yaşam açısından ne'liği onun değerini de kaçınılmaz olarak etkilemektedir. Bu bağlamda, varlığın ne'liği ontolojik bir konuma işaret ederken, aynı zamanda onun ahlaki statüsü ve değeri açısından da belirleyicidir. Bu durum genel olarak etiğe ilişkin tartışmalarda özellikle ontoloji-epistemoloji ve etik arasında kurulan bağın bu araştırma için de geçerli olduğunu göstermektedir.

Biyoloji alanında yaşam tanımı ile ilgili tartışma en önemli tartışma konularından biridir. Çok sayıda bilimsel gelişme ve yeniliğe rağmen yaşama ilişkin tanımlamada yeterince yol kat edilememesinin nedenleri olarak soyut veya spesifik tanımların nasıl olması gerektiği konusundaki anlaşmazlıklar; yapılacak bir tanıma neyin dahil edilip neyin edilmeyeceği konusundaki farklı görüşler ve tanımların doğası hakkındaki anlaşmazlıklar gösterilebilir (Mariscal, 2021).

Tarihsel olarak bilim insanları ya da felsefeciler bir kavramı tanımlarken gerekli ve yeterli koşulların sağlanmasını bir amaç olarak öne sürmüşlerdir. Bununla beraber, tanımlama işi genellikle karşı argüman ve olgularla çürütülmeye açıktır ve özellikle kuramsal (felsefi) tanımlamalarda her zaman güçlüklerle karşılaşmıştır. Bu anlamda herhangi bir yaşam tanımı için, tanımın dışında bırakılan canlı durumlar

ya da tanım kapsamına giren cansız durumlar bulunabilmektedir. Örneğin, yaşam için organize tanım yapıldığında jeolojik oluşumlar için de aynı tanımlama söz konusudur. Bu bağlamda, kuramsal tanımlar, kendisinin karşı örneği ile sorgulanabileceği için genellikle pratik değil ve kırılındır. Bunun nedeni, gerçek dünyanın kolayca tanımlarla sınırlanamayacak şekilde karmaşık yapısıdır (Mariscal, 2021).

Felsefeci olmayanlar genellikle kuramsal tartışmalardan kaçınmakta olup daha çok işlevsel tanımlar yapma eğilimindedirler. Bu amaçla incelenen fenomenlerin kapsamını daraltmak için işlevsel tanımlamaları tercih etmektedirler. Ancak bu tanımlamaların felsefi olarak yeterince düşünülmemiş olduğu ile ilgili eleştiriler de bulunmaktadır. Örneğin, “evrimsel süreçte kendi kendine yeten kimyasal bir sistem” şeklindeki işlevsel yaşam tanımı, canlı bir organizmayı dışlarken, virüsleri içerebilmektedir (Mariscal, 2021).

Bir başka tanımlama türü de nominal tanımlardır. Bu tanımlar daha çok dilsel ve kültürel kabullerle ilişkilidir. Bu tanımlamalar sözlük tanımlarıyla sınırlıdır ve araştırmacılara ve tartışmalara katkıları görece sınırlıdır. Bunun yanı sıra mekânsal özellikleri temel alan tanımlamalar da bulunmaktadır. Özellikle geometride kullanılan tanımlamalar bu türdendir (Mariscal, 2021).

Sonuç olarak, tanımlamaya ilişkin yaklaşımlarda işlevsel ya da felsefi tanımlamalar öne çıkmaktadır. İşlevsel tanım hızlı; ancak net bir tanım değilken; felsefi tanımlar gerekli ve yeterli koşulları sağlayamaya vurgu yapmaktadır. Bununla beraber, son dönemde yaşam için tanım yapmanın zorluğuna işaret edilmiş ve ‘tanımlanamaz bir kavram’ olarak ‘değişken’ bir yapısının olduğu düşünölmeye başlanmıştır (Mariscal, 2021).

Tarihsel olarak bakıldığında, Antik Yunan’da yaşam ile ilgili kuramlar *psyche* etrafında yürütölmüştür. Ruh olarak da tercüme edilen *psyche* aynı zamanda bir yaşam ilkesi olarak da düşünölebilir. Platon, yaşamı bitkisel (vejetatif) yaşam,

hayvansal (animal) yaşam ve akılsal (rasyonel) yaşam olarak üç parçaya ayırmıştır (Mix, 2018). Bunlardan bütün canlılarda ortak olan en alt kategorideki bitkisel yaşam, yaşamı sürdürme, beslenme ve üreme gibi özellikler içermektedir. Hayvansal yaşam ile duyu ve hareket bu özelliklere eklenmektedir. En üst kategoride ise rasyonel ruha sahip olan ve insana atfedilen özel bir yaşam alanı vardır (Mariscal, 2021 ve Mix, 2018). Platonik düşünce genel olarak dinleri etkilemiş ve bu rasyonel ruha sonsuzluk ve kutsallık atfedilmiştir (Mariscal, 2021).

Aristoteles'in yaşam anlayışı Platon'dan daha farklıdır. O'na göre yaşayan şeyler uygun bir forma, maddi yapıya ve amaca yönelik olma şeklinde üç temel özelliğe sahiptir. Aristoteles yaşamı kendi kendine hareket, süreklilik ya da kendi kendini değiştirme olarak ele almıştır. Bu bağlamda ruh, merkezi bir role sahiptir. Aristoteles'e göre iç ve dış karışıklıklara direnme kapasitesi, canlı varlıklar ile cansız nesneler arasındaki temel ayırt edici özelliktir; diğer özellikler ise rastlantısaldır (Byers, 2006).

Aristoteles'ten yüzyıllar sonra Descartes hayvanlar, rasyonel varlık ve nesneler arasında keskin bir ayrım yapmıştır. Bu durum, bitkiler ve hayvanlar arasındaki boşluğu arttıran bir yaklaşımdır. Descartes'a göre hayvanlar karmaşık saatlere benzerler ve insan deneyiminin merkezinde yer alan içsel ya da ruhsal bir yaşamdan yoksundurlar (Descartes, 2010).

Descartes'in makine kuramına karşı vitalizm görüşü ortaya çıkmıştır. Yaklaşık üç yüzyıla yayılan bu görüşte Descartes'in organizmalara ilişkin makine kuramına karşı metafizik veya teolojik olmayan bilimsel argümanlar geliştirilmeye çalışılmıştır (Mayr, 2010).

Vitalistler, yaşamın özelliklerini maddi olmayan nedenler, maddenin belli ve düzenli durumları, özel bir yaşam sıvısı, belirli bir nihai amaç ve zihinsel güçler kadar farklı özelliklerini tanımlayan ontolojilere sahip olmuşlardır. Vitalizm, kimya

ile biyoloji arasında kurulan ve biyolojiyi kimyaya indirgeyen görüşlerle birlikte popülerliğini yitirmiştir (Mariscal, 2021).

Yirminci yüzyılda mekanik görüş ve vitalist ayrımı büyük ölçüde etkisini yitirmiştir. Bununla beraber, yaşamı tanımlama konusundaki zorluklara rağmen yine de hem filozoflar hem de bilim insanları yaşamı tanımlamaya çalışmıştır. Yaşamı tanımlamaya yönelik bu ilginin nedeni, yaşamla ilişkili geleneksel bazı özellikleri dönüştüren ve yaşama ilişkin sorunları daha da karmaşık hale getiren yapay yaşam, sentetik biyoloji, yaşamın kökenleri ve astrobiyoloji dahil olmak üzere yeni bilim ve teknolojilerdir (Mariscal, 2021). Bu alanların ortaya çıkışıyla birlikte yaşamın ne'liği ve doğası yeniden önemli bir konu olarak gündeme gelmiştir. Bu nedenle sentetik biyoloji gibi bir alanda bugüne kadarki düşüncelerimizi bir yaşam yaratma eylemi ile önemli ölçüde dönüştüren sentetik biyoloji etiği tartışmaları içinde yaşamın ne'liği ve etik açıdan anlamı temel bir ilgi konusudur. Bu tez araştırmasında da bu değerlendirmeye uyumlu sayılabilecek biçimde sentetik biyoloji ve etiğe ilişkin tartışmalardan bazılarında yaşamın ne'liği şeklinde bir temanın ortaya çıkmasını sağlayan bir içerik ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda yaşamın anlamı, yaşamın değeri, doğal ve yapay ayrımı, sentetik biyolojinin bir yenilik yaratma faaliyeti olarak görülmesi ile evrimsel sürecin değişiminin ön plana çıktığı bir kavramsal çerçeve dikkati çekmektedir.

Yaşamın anlamına ilişkin tartışmalarda özellikle insan ve sentetik biyoloji ürününü de içeren diğer varlıklar arasında ontolojik bir farka vurgu yapılmaktadır. Bu aynı zamanda varlıklara ilişkin ahlaki konum açısından da önemli bir ayrıma neden olmaktadır ve temelde insan merkezli bir ahlakilik atfı ile ilişkilendirilmektedir (Gómez-Tatay ve ark., 2016). Bu durum da daha önceki temada belirtilen yaşamın anlamına ilişkin ontolojik yönelimin ahlakiliği etkilediği yorumu ile uyumludur.

Tez çalışması kapsamında ele alınan yayınlardan kimi yazarlar ise yaşam teriminin çok ayrıntılı analizinin yapılarak araştırmacılar tarafından kullanılması gerektiğine vurgu yapılmıştır (Funk ve ark., 2019). Bu bağlamda, yaşam kavramının kullanımına ilişkin bir kaygının bulunduğunu ifade etmek mümkündür. Özellikle sentetik biyoloji alanında yaşam teriminin aşırı ve köktenci kullanımlarından kaçınılarak, alana ilişkin olumlu ve geliştirici bir söyleme dikkat çekilmektedir. Bu açıdan yaşam teriminin araştırmacılar için uzlaşım sağlayan kontrol edilebilir bir formda sunulması, önemli bir gereksinim olarak görülmektedir. Etik açıdan vurgulanan, yaşam kavramının keyfi ve yanlış kullanımlarının etik sorunlar doğurabileceğidir. Bu nedenle, terimlerin uygun kullanılması önemlidir. Yine de yaşam teriminin gelişmelerle birlikte değişebilir doğasına dikkat çekilmektedir (Funk ve ark., 2019).

Yaşam tanımı için doğal-yapay ayrımı da önemli bir ayrımdır ve sentetik biyolojinin de bu bağlamda özel bir öneme sahip olduğu söylenebilir. Özellikle sentetik biyoloji alanında üretilen şeyin doğal ile yapay arasındaki farkı önemli ölçüde değiştirdiği ya da değiştireceği düşünülmektedir (Gómez-Tatay ve ark., 2016). Sentetik biyolojiye kadar insanın ürettiği şeyler genel olarak yapaylık ile ilişkilendirilirken; sentetik biyoloji ürününün organizma olarak konumlandırılmasının bu farkı silikleştirdiği söylenebilir. Çünkü sentetik biyoloji ürünü, tasarlanmak açısından bir yapaylık içerirken, organizma ve canlılık açısından da doğallık içermektedir. Etik anlamda bu durum, yapaylık yönünden araçsallık ile, doğallık yönünden ise içsel değerlerle ilişkilendirilme olasılığına sahip tartışmalı bir konudur.

Kimi yazarlarca ifade edildiği gibi, yaratma açısından doğal ve yapay ayrımı, en temel etik tartışmadır. Bu açıdan, metaforlar ile ilgili bir temada da ele alınan Tanrı'yı oynama argümanı ön plana çıkmaktadır. Etik açıdan yaratılan ürünün kendisine dönülerek bir analiz yapılması gerektiği ifade edilse de insanın sentetik biyoloji ile yaratma eyleminin en azından retorik olarak Tanrı'yı oynama argümanı ile eleştirildiği belirtilmektedir. Bu bağlamda, yapay olan doğal olanı alt ederken;

insanın yaratma edimiyle oldukça kibirli bir eylemde bulunarak yaşamdaki ve evrimdeki doğal süreci etkileyebileceği eleştirileri yapılmaktadır (Heyd, 2012).

Sentetik biyoloji ürününün hem teknoloji ürünü olarak nitelendirilerek fabrikasyona atıf yapılması hem de bir yaratma eyleminden bahsedilmesinin içinde çelişkiler barındırdığına da değinilmiştir. Bu bağlamda, özellikle mekanistik fabrikasyondan farklılıkların dikkatten kaçırılmaması gerektiği belirtilmektedir. Fabrikasyona dayalı bir mekanistik üretim, öngörü ve kontrol etmeyi içermektedir. Ancak bu söylemin sentetik biyolojide yaygın olarak kullanılması da bazı temel sorunlara neden olacaktır. Bunlar, organizma yaratmanın güvenilir bir biçimde yapıldığına dair gereksiz bir abartı, kendi içinde işini düzgün yaptığına yapılan vurgu nedeniyle dışarıdan değerlendirmelere kapalı olmak ve ürettiği şeyin değerine ilişkin kendi kendine ölçüt koymaktır (Boldt, 2013c). Bu değerlendirmeler özellikle sentetik biyolojide üretim süreçleri, ürünlerin öngörülmesi ve sorunların sınırlandırılması ile ilgili sorun ve kaygılardır. Bu kaygılar son tema olan “Sentetik Biyolojiye İlişkin Beklentiler, Kaygılar ve Sorun Çözme Yolları: Riske Karşı İhtiyat” temasında yer almaktadır.

Sentetik biyolojideki yaratma sürecinin evrimsel süreçle olan bağlantısı ile biyolojik varlıklar ve doğanın mevcut durumundan bir kopuşu temsil ettiğine de değinilmiştir. Bu da yeni üretilen biyolojik ürünün nesilden nesile devamının ürünü olmaması demektir. Bu devamlılığın kopması bir kaygı alanı olarak görülmektedir ve bu kaygının merkezinde özellikle çevre etiği bağlamında evrimsel süreçte önemli olan normatif kuralların etkilenmesi bulunmaktadır. Mevcut evrimsel süreç ve doğal dünyanın devamlılığı klasik çevre etiği açısından normatif ölçütlerin önemli bir dayanağıdır. Oysa sentetik biyoloji bu anlamda evrimsel süreçte bir kesinti ve müdahaleye neden olarak norm ve kuralları belirlemeyi olanaksız kılabilir. Bu da özellikle çevre etiği bağlamında önemli bir sorun olacaktır (Preston, 2008). Biyoetik alanında özellikle yeni teknolojilerin gelişmesi, alanın gelişimi ve etik normların ortaya konulması açısından tarihsel olarak belirleyici olmuştur. Bu bağlamda, çevre etiğinin ve normlarının da teknolojik gelişmelerden etkilendiği söylenebilir. Ancak sentetik biyolojinin kendine has özellikleri ile doğal durumun ve çevrenin bugüne

kadar olan yapısına etki ederek yeni tartışmalara neden olması ve normlara ilişkin sınırların konulmasının kolay olamayacağı da önemli bir konudur.

Günümüzün güncel gelişmeleri ve sentetik biyolojinin dinamik yapısı da düşünüldüğünde, yaşamın tanımını yapmak zor olsa da her yaşam tanımı ya da ona ilişkin söylem, içerdiği ontolojik kabullerle etiği derinden etkileyecek; bu varlıklara yönelik etik pozisyon için de belirleyici olacaktır. Örneğin bu formların kendine bir yaşam olarak mı kabul edileceği, yoksa salt araçsal olarak mı ele alınacağı, onlara dair ahlaki pozisyonu da belirleyecektir. Yaratma açısından yapaylık ile doğallık arasında öngörü ve sınırlamaya ilişkin sorunlar açısından yaratma edimi, aynı zamanda risk ve geleceğe yönelik sorunlarla da ilişkili bir anlam taşımaktadır.

Metaforların son dönemde doğa ve yaşam bilimleri alanında kullanımı ve tarihsel olarak dönüşümü, sosyal bilimcilerin, felsefecilerin ve bilim insanlarının ilgisini çekmiştir (McLeod ve Nerlich, 2017). Metaforlar bazı felsefeci ve dilbilimciler tarafından politikaları, toplumsal yaşantıyı ve insan düşüncesini anlamak için oldukça önemli araçlardır (Groeger, 2010). Bu bağlamda metaforların yalnızca dili güzelleştiren dilsel ifadeler olmadığı, dünyaya ilişkin insan düşüncelerini ve eylemlerini etkiledikleri belirtilmektedir (Lakoff ve Johnson, 2015 ve McLeod ve Nerlich, 2017). Kelimelerin ya da söylemlerin aynı zamanda birer sonuçları vardır ve bu sonuçlar etiği, sosyal yaşantıyı, insan etkinliklerini ve ekonomiyi etkileyebilmektedir (McLeod ve Nerlich, 2017).

Dilsel söylemlerin özellikle biyoloji ve sentetik biyoloji gibi alanlardaki bilimsel gelişmelerden etkilendiği söylenebilir. Ancak bunun aynı zamanda beklenti, kaygı, yaşama verilen anlamla ilişkili olarak da sosyal bilimleri etkilediği görülmektedir (McLeod ve Nerlich, 2017). Örneğin başlangıçta sentetik biyolojiye ilişkin metaforik söylemlerin daha güçlü bir bilimsel etkinlik ve güç ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Daha sonra bu söylemin sorumluluğa işaret eden metaforlarla dengelendiği belirtilmiştir (Check, 2006). Özellikle bilim ile ilgili güven sorunlarının ve toplumun duyduğu kaygıların giderilmesi bu söylemler açısından belirleyicidir.

Bunun yanı sıra metaforlara ilişkin olarak bilimsel alanda dilin dikkatli ve sorumlu bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır (McLeod ve Nerlich, 2017).

Metaforlar yaşam bilimleri alanında oldukça önemli rol oynamaktadır. Özellikle sentetik biyoloji gibi yeni gelişen teknolojiler açısından metaforlar gözden kaçırılmaması gereken unsurlar arasındadır. Bu söylemler aynı zamanda paradigma değişikliklerine ve toplumun buna tepkilerine ilişkin içerikler de barındırmaktadır (Falkner, 2016). Bu bağlamda sentetik biyoloji, kendisine yönelik metaforik söylemlerin üretildiği bir alan olarak dikkat çekmektedir. Özellikle “Tanrı’yı oynamak” ve “yaşam yaratmak” gibi metaforlar ağırlıklı bir kullanıma sahipken; bunlara “yaşayan makine” gibi işleve odaklı söylemler de eklenmektedir (Matern ve ark., 2016). Bu tez çalışmasında da metaforlar ağırlıklı bir kavram olarak göze çarpmamakla birlikte yine de anlamlı bir içeriğin ortaya çıktığı söylenebilir.

On sekizinci yüzyıldan itibaren yaşam bilimlerinde önemli bir yer edinen makine metaforu, organizmaların bileşenlerini insan icadı makineler olarak yorumlamaktadır (Bechtel, 2020). Sentetik biyoloji, bilim insanlarının bir sistem hakkındaki düşüncelerini organize etmek amacıyla makine metaforunun kullanımına açık ve güncel bir örnek sunmaktadır (Holm, 2020).

Sentetik biyolojide kullanılan makine metaforu, güçlü bir kavramsal anlatım olarak kabul edilmektedir. Makine metaforu sentetik biyoloji ürününün ontolojisi ile yakından ilişkilidir. Karmaşık moleküllerin açıklanmasında bu yapının içerdiği basit moleküllerin yapısının bilinmesi yeterli ise (basit parçaların davranışlarını yöneten kanunların ve düzenliliğin olduğu varsayımıyla), bir organizmanın da işlevini açıklamak için o organizmanın genetik yapısının tanımlanması ve analiz edilmesi yeterlidir. Bu görüşe göre, bir bağıntı olarak bir nesnenin parçaları ve işlevleri biliniyorsa, söz konusu nesnenin genel davranışı güvenilir bir biçimde tahmin edilebilir (Boldt, 2018).

Makine metaforunun sentetik biyoloji ve tek hücreli organizmalar için uyarlanması üç aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak tek hücreli bir organizmanın davranışı, onun ve genetik parçalarına atıfta bulunularak açıklanacaktır. Bu sayede tek hücreli organizmalar parça parça tasarlanabilir ve inşa edilebilir. İkinci olarak bir organizmayı tasarlamak ve inşa etmek, organizmada belirli bir işlevi sağlamlaştıırır. Bu işlev, tasarımcı açısından belirli bir amacı yerine getirir. Son olarak, ortaya çıkan organizmanın davranışı, parçaları hakkında yeterli bilgi verildiğinde güvenilir bir şekilde tahmin edilebilir (Boldt, 2018).

Metafor söylemi ile aynı zamanda organizmaların ahlaki konumu arasında sıkı bir ilişki söz konusudur. Bu bağlamda sentetik biyoloji ürününe canlıya özgü içsel bir değer atfediyorsa, bu organizmaların insan için kullanımı gerekçelendirilebilir. Eğer makine benzetmesi yapılıyorsa bu durumda araçsal bir değer söz konusu olacaktır. Dolayısıyla sentetik biyoloji ürünlerini makine veya organizma olarak adlandırmak, basit metaforik bir söylemden farklı bir anlam taşımaktadır (Deplazes ve Huppenbauer, 2009).

Canlılar ile makineler arasında ayırım yapmak onların ahlaki konumlarının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bilgisayarlar gibi makinelerin de içsel bir değeri yoktur; bunlar ancak değerli amaçlara ulaşmak için kullanılabildikleri sürece değerlidirler. Aynı zamanda makinelerin çıkarları ve hakları da bulunmaz. Organizmalar ise bunların hepsine sahiptir. Canlılar ile makineler arasındaki ayırma atfedilen anlamın aşınması, canlıların yanlış bir biçimde gerçekte sahip olduklarından daha düşük bir ahlaki konum ile eşleşmelerine neden olabilir (Douglas ve Savulescu, 2010).

Bir varlığın ne'liği açısından makine ve organizma kavramlarının anlamları önemli bir tartışma konusudur. Makine metaforunda sentetik biyoloji ürününün makine olarak tanımlanmasıyla öngörülebilir bir durum söz konusu olmaktadır. Ancak bu ürünün bir organizma olarak tanımlanması bu öngörü olanaklarını kaçınılmaz olarak sınırlandıracaktır. Bu durum, bu metaforik kavramların

kullanımının en azından risk ve öngörü problemi açısından anlamlı bir etik yaklaşım farkı oluşturacağı açıktır.

Metaforlar bağlamında tartışılan bir diğer konu, “Tanrı’yı oynama” argümanı ya da metaforudur. Tanrı’yı oynama argümanı genellikle dini temelli etik inançlarla algılanan bir tutarsızlık nedeniyle eylemlere veya kararlara itiraz edilmesinde kullanılır. Bununla beraber, geniş kapsamlı konular hakkında güç veya kontrol sahibi olmayı içeren eylemleri veya kararları karakterize etmek için seküler anlamları da mevcuttur. Tanrı’yı oynama, ahlaki olarak kabul edilemeyecek eylemleri betimlemek amacıyla kullanılır ve genel olarak bazı mutlak ahlaki sınırların aşıldığı ima edilir; gerçekleştirilmemesi gereken olasılıklar, yapılmaması gereken seçimler olduğu fikrini somutlaştırır. Aynı zamanda kutsal şeylerle uğraşmanın kibriyle ilgili endişeleri de ifade eder (Grey, 2012).

Tanrı’yı oynama argümanı belirgin biçimde teolojik bir yapıya sahiptir. Bunun yanı sıra liberal teologlar bunu dini bir argüman olarak değil, seküler bir argüman olarak görmektedirler (van den Belt, 2009). Bu görüşe göre, insanlar Tanrı’nın alanını değil, tanrılaştırılmış bir doğanın alanını ihlal ederler. Peters (2007)’a göre, Tanrı’yı oynamanın kökenleri Antik Yunan’da ve açık bir şekilde Prometheus’un güneşten ateş alıp insanlara verdiği Prometheus mitindedir. Tanrı’yı oynama argümanının Hristiyan geleneğinde bir yeri yoktur. Yeni teknolojiler ise korkulacak şeyler değildir; önemli olan, bu teknolojilerin iyilik için aşkın bir zemine sahip olup olmadığıdır (Peters, 2017 ve Weckert, 2016).

Argümanın “*Tanrı, kendilerine yardım edenlere yardım eder.*” sözüne dayanan teolojik boyutu, Tanrı’nın insanlara oynamaları için roller verdiği ya da ilahi tasarımın ortaya çıkışında kendi kendine oynayacakları roller bulmalarına izin verdiği şeklindeki teolojik içgörünün yansımasıdır. Bu bağlamda, argüman, teolojinin bize öğrettiği ve Tanrı’nın yapmaya çağırdığı şeyin bir açıklaması olabilir. Tanrı’yı oynama argümanının teolojik yorumlarından biri de insanlar ile doğal düzen arasındaki ilişkide egemenlik, yönetim ve birlikte yaratma olmak üzere üç tepki geleneğinin ayırt edilmesidir. Bunlardan egemenlik ve yönetim, insanların doğal

çevreye karşı kötü tutumlar olarak gördüğü şeyleri teşvik etmede Hristiyanlığın rolüdür (Coady, 2009).

Bazı dini inançlara göre, doğru bir hareket tarzı, Tanrı'nın ayrıcalıklarına ahlaki açıdan kusurlu veya kibirli bir eylem sayıldığından sakıncalı bulunmaktadır. Tanrı'yı oynama argümanı, hem Tanrı'nın takdiri olan sözde bir sınırın aşıldığını hem de doğal bir düzeni belirtmek için kullanılır. Natüralist düşüncelere başvurulduğunda, eylemin doğal düzeni bozacağı ve bu nedenle bu eylemin yapılmaması gerektiği savunulmaktadır (Grey, 2012).

Teolojik kullanımına karşı Tanrı'yı oynama argümanının seküler kullanımı günümüzde daha yaygındır. Bu kullanıma göre Tanrı rolünü oynayan doğanın kendisidir ve bazı şeyleri doğaya bırakmak gerekmektedir. Eğer insanlar doğanın alanında doğru olanı yapmaya çalışırsa, bu bir anlamda doğaya aykırı olacaktır (Weckert, 2016). Seküler anlamda Tanrı'yı oynama argümanı her şeye gücü yeten, her şeyi bilen ve yardımsever olmanın ötesine geçmek ve insanın bilgisi, gücü ve yardımseverliği üzerindeki yerleşik kısıtlamaları görmezden gelecek şekilde hareket etmek olarak yorumlanabilir (Coady, 2009).

Seküler bir bakış açısıyla Dworkin (2012)'e göre alçakgönüllükle kabul edilmesi gereken konular ile insanın şekillendirebileceği şeyler arasındaki yerleşik ayrımın bulanıklaşmaya başlaması rahatsız edicidir. Ancak insanların görünüşte düşman olan doğaya karşı gelmesi, yakın tarihli bir fenomen (modern biyoteknolojinin bir fenomeni) değildir. Buna karşılık, sınırları aşmak, insanın doğasına aittir ve biyoteknoloji niteliksel olarak aynı şey değildir. O'na göre, Tanrı'yı oynama söylemi (metaforu), insanın dünyayı şekillendirmeye yönelik temelde reddedilemez kültürel görevini endişeyle reddeden muhafazakârlar için kaynak işlevi görmektedir.

Tanrı'yı oynamanın bütün farklı kullanımlarında ortak olan, doğal bir düzenin veya yapının olduğu, belki de ilahi olarak emredildiği ve bu doğal düzenin tanımladığı sınırları aşma önerilerinin hemen reddedilmesi ya da en azından dikkatlice düşünülmesi gerektirir (Grey, 2012).

Tanrı'yı oynama metaforunun en yaygın kullanıldığı alanlar, insan yaşamını sonlandırılmasına ilişkin kararlar başta olmak üzere tıbbi teknolojilerle ilgilidir (Grey, 2012). İnsan yaşamının kutsallığına dayandırılan ve Tanrı yasasına gereken saygının gösterilmediği eleştirisi yapılan bu önemli uygulamalar ötanazi, kürtaj ve kimi durumlarda kürtaj ile bağlantılı olarak doğum öncesi testlerdir (Grey, 2012; Lustig, 2013 ve Raho, 2014). Bununla beraber, in vitro fertilizasyon ve gamet intrafallopian transfer gibi yeni yardımcı üreme teknolojilerinin kullanımında gündeme gelmiştir. Tıbbi teknoloji uygulamalarına yönelik itirazların ortak dayanağı, teknik olarak kontrol edilebilen bir şeyin olmasına izin vermenin, onu Tanrı'nın takdirine bırakmak olduğu ve bazı durumlarda kontrolü akıllıca kullanmanın insanın gücünün ötesinde olduğunu kabul etmektir. Bununla birlikte, bu görüş için rasyonel bir gerekçe sunmak zordur (Grey, 2012).

Tanrı'yı oynama argümanı, aynı zamanda biyoteknolojideki gelişmeleri, özellikle genetik mühendisliğin gündeme getirdiği endişeleri dile getirmenin bir yolu olarak da kullanılmıştır (Lustig, 2013). Genetik mühendisliği hakkındaki şüphelerin ifade edilmesinin bir yolu, gen havuzunun korunması gereken Tanrı'nın kutsal yaratımı olduğu şeklindeki dini inançtır. Bu bağlamda genetik mühendisliği Tanrı'nın alanı olan bilgiyi kendine mal etmeyi içeren tehlikeli bir Prometheus mitine benzetilmektedir. Buna karşın, gen havuzları ilahi bir takdirin ürününün olmadığı, milyarlarca yıllık bir evrim sürecindeki bir birikim olarak görülmektedir. Seküler bir argüman olarak, genomlarla ilgilenirken biyolojik süreçlerin ve ürünlerin milyarlarca yıllık jeolojik zaman diliminde evrimleştiği ve böylece sağlamlığını kanıtlamış olduğudur (Grey, 2012).

İnsanlar en son bilimsel ve teknolojik keşiflerin uygulanmasından endişe duyduklarında, bu endişelerini Tanrı'yı oynama argümanı ile dile getirmektedir. Bu endişe, söz konusu bu uygulamaların insanlara makul olarak izin verilebilecek olanın ötesinde bilgiye, güce ve erdeme gerekçesiz bir güveni içerebileceğidir (Coady, 2009).

Tüm metaforlarda olduğu gibi, Tanrıyı oynama metaforu da incelenen konuların bazı yönlerini aydınlatsa da diğer yönlerini zorunlu olarak bulanıklaştırır. Sentetik biyoloji teknikleri de dahil olmak üzere, belirli biyoteknolojiler üzerine Tanrı'yı oynama, üç tür dini kaygıyı ele almayı amaçlar: (1) Belirli sınırların ihlal edilmemesi gerektiğini ifade etmek amacıyla deontolojik bir yönleme başvurulur. Bu sınır, Tanrı'nın alanı kabul edilen ve insan eylemi için sınır dışı kabul edilen bir alandır. (2) Tanrı'yı oynama, doğal sınırlara karşılık gelen saygı ve hürmetle huşu, hayret ve alçakgönüllülük tutumları dahil olmak üzere, Tanrı'nın doğasına uygun tepkiler olan belirli tutum, değer veya erdemler hakkındaki yargıları ifade edebilir. (3) Tanrı'yı oynama sabit türler veya daha geniş anlamda doğal türler gibi kavramlarla tanımlanan dünyanın düzeni ile Tanrı'nın yaratıcı iradesi ve amaçları arasında basit, hatta izomorfik karşılıklar önermek anlamına gelir (Lustig, 2013).

Tanrı'yı oynama argümanı ile ilgili temel sorun, altta yatan ahlaki ilkenin ifade edilemeden kalma tehlikesidir; bu nedenle bu argüman ahlaki tartışmayı aydınlatmaktan çok, daha anlamsız hale getiren retorik bir araç olarak etki etmektedir. Dolayısıyla bu argümanın ciddi kullanımları, ahlaki bir çerçeveyi veya ahlaki bir ilkeye başvurmayı gerektirir ve bu nedenle belirsizliğin üstesinden gelmek ve karışıklığı önlemek amacıyla varsayılan ilkeler açıkça ifade edilmelidir (Grey, 2012).

Bilimsel bilgi ve teknoloji etik açıdan son dönemde önemli konu başlıklarından biri haline gelmiştir. Bu bağlamda Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü bünyesinde özel bir komisyon kurulmuş; bilgi ve teknolojinin geliştirilmesinde salt ekonomik amaçların gözetilmemesi gerektiği, etik kaygıların da dikkate alınması önemli bir gerekçe olarak ortaya konulmuştur. Nanoteknoloji, gelişen teknolojiler, teknolojiye yakınsama gibi sentetik biyolojiyle yakından bağlantılı konular da öncelikli etik konular olarak yer almıştır (UNESCO, 2022).

Literatürde sentetik biyolojinin pratik bir alan olmasının yanı sıra, bilgi üretici bir alan olduğu ve bu nedenle özel bir ilgiyi hak ettiği belirtilmektedir. Bu bağlamda sentetik biyolojide basitçe bilginin üretim aşamalarına değil, bilginin anlamına ve etik açıdan önemine dikkat çekilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Buna göre bilgi üretme süreçlerinde etik bir dikkat ve özene değinilmektedir. Bilgiyi üretenler de ürettikleri bu bilginin gelecekteki risklerine yönelik bir ilgiye sahip olmalıdırlar. Bu yönüyle devletlere ve bilgiyi üretenlere roller düşerken, etikçiler de farklı bakış açıları sunarak bilgi üretenlere destek olmalıdırlar. Bu süreçte bilgi üretiminin ketlenmemesine dikkat edilmelidir (Douglas ve Savulescu, 2010).

Bilgiye yönelik dengeli bir bakış açısının bulunduğu söylenebilir. Bir yandan sentetik biyolojiden faydacı anlamda beklentiler söz konusu iken, diğer yandan bilgi kategorisinin kendisinin de bir risk alanı olarak değerlendirilebileceği görülmektedir. Özellikle bilgiye ilişkin etik dikkat ve özen, bilginin kötüye kullanımına ilişkin bir kaygıyı içermektedir. Bilgi etiğinin sentetik biyolojide üretilen bilgiler açısından dengeleyici bir rolü mümkün görünmektedir. Bu bağlamda Douglas ve Savulescu (2010), genel olarak bilginin dağıtımı konusunun biyoetikte görece arka planda kalan bir tartışma alanı olduğunu; bununla beraber sentetik biyolojinin bir yaşam bilimi olarak bilgi üretimindeki ilişkisinde kaçınılmaz olarak bir bilgi etiğine ihtiyacı vurgulamışlardır.

Yine bu makalenin yayın tarihinden sonra bilgiye erişimin çeşitli başlıklar halinde biyoetiğin gündeminde olduğunu ifade etmek yerinde olacaktır. Bu bağlamda, bilginin geniş kitlelerin erişime açılması ve aynı zamanda onun güvenli kullanımı gibi konuları içermesi nedeniyle açık erişim ve ikili kullanım gibi konular biyoetiğin önemli konu başlıklarındaki yerini almıştır. Özellikle sentetik biyoloji alanında ikili kullanım kavramının oldukça önemli bir etik tartışma haline geldiği söylenebilir.

İnsanlığa yarar sağlamak amacıyla kullanılabilecek biyolojik buluşlar (tıptaki gelişmeler yoluyla) bazı durumlarda zarar vermek için de kullanılabilir (biyolojik silah gibi). Bu zararlar kimi durumlarda da felaketlere yol açabilir. Dolayısıyla bu, biyoloji tarihi açısından önemli bir konudur ve yaşam bilimlerinde etik karar verme ve politika oluşturma açısından dikkate alınmalıdır (Selgelid, 2013).

Hem iyi hem de kötü amaçlar için kullanılma potansiyeline sahip araştırmalar için yaygın olarak ikili kullanımlı araştırma olarak adlandırılmaktadır (Selgelid, 2013). Bu, araştırmanın tamamını kapsayabildiği gibi, kimi durumlarda araştırmanın sadece bir parçasıdır (Miller ve Selgelid, 2008a). Hemen hemen her bilgi ve teknolojiye elde edilen bilgiler, her iki tür amaç için de kullanılabilirken, ikili kullanım endişesi özellikle zararlı amaçlar için kullanılabilecek, kötü niyetli kullanımın ortaya çıkacağı (özellikle de felaket ile sonuçlanabilecek) araştırmaları ifade etmektedir. Bu bağlamda, özellikle yeni nesil biyolojik kitle imha silahlarının da geliştirilebileceği genetik alanındaki ilerlemeler endişe vericidir (Selgelid, 2013).

İkili kullanım fenomeni, bilim yönetişimi hiyerarşisinin farklı düzeylerinde çeşitli aktörler tarafından etik karar vermeyi gerektirir (Miller ve Selgelid, 2008a ve Selgelid, 2013). Zarar verme potansiyeli bağlamında iyiliği teşvik etmekle ilgili olduğundan etik bir ikilemdir (Miller ve Selgelid, 2008a). Bu bağlamda, bireysel olarak bilim insanları (özgür oldukları sürece) hangi araştırmanın yürütüleceğini ve/veya yayınlanacağına karar vermelidir. Araştırma kurumları tehlikeli olabilecek potansiyel araştırmaları kendi sınırları içinde nasıl düzenleyeceklerine, laboratuvar

güvenliğini nasıl sağlayacaklarına, araştırmacılarını ikili kullanım veya etik ile ilgili nasıl eğiteceğine karar vermelidir. Profesyonel topluluklar, bilim insanları için etik davranış kurallarının geliştirilmesi ve/veya uygulanmasına ilişkin kararlar almalıdır. Yayıncılar, ikili kullanım tehlikesi oluşturabilecek yayınların hakem süreci ile ilgili kararlar almalı ve hangi yayınları yayınlayacaklarına karar vermelidir. Ulusal düzeyde hükümetler hangi araştırmaları destekleyeceklerine; araştırmaların ve yayınların incelenmesi, bilim insanlarının eğitimi gibi konularda düzenlemeler yapmalıdır. Uluslararası düzeyde ise küresel politikalara yönelik kararlar alınmalıdır (Miller ve Selgelid, 2008a ve Selgelid, 2013).

Araştırmacının karşı karşıya kaldığı etik ikilemin ana noktasını potansiyel eylemleri oluşturmaktadır. Araştırmacının sıklıkla zarar verme niyetinde olmadığı, iyi bir niyetinin olduğu düşünülür. Biyolojik bir ajanın çalınması ya da elde edilen bilimsel bilgi sayesinde böyle bir ajanın elde edilebilir olması buna örnek olarak gösterilebilir. Bununla beraber, araştırmacı olmayan kötü niyetli kişilerin, araştırmacı tarafından üretilen bilgileri kullanması söz konusu olabilir (Miller ve Selgelid, 2008a). Bu durum, araştırmacıyı da aşarak devletler için göz önünde bulundurulması gereken bir güvenlik ve halk sağlığı sorununa dönüşerek idari anlamda da etik bir ikilemin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Bir yanda sorumlu aktörler, bilimin geliştirilmesini ve iyiye kullanılmasını teşvik ederken; diğer yandan bilimin kötü niyetli kullanımını önleyecek eylemlerde bulunmak isteyeceklerdir. Bununla birlikte, ikili kullanımın bir anlamı, yararlı olması muhtemel bir araştırmanın aynı zamanda zarar vermek için de kullanılabileceği durumlarda, her iki amaca da aynı anda ulaşmanın doğası gereği zor olmasıdır. Örneğin, hükümetler açısından karar vermede bırakınız yapsınlar yaklaşımı benimsediğinde, bu yaklaşım bilimsel ilerlemeyi kolaylaştırabilir; ancak aynı zamanda özellikle tehlikeli araştırmaların yapılmasına ve/veya yayımlanmasına da yol açabilir. Diğer yandan daha kısıtlayıcı bir yaklaşım, tehlikeli bilgilerin üretilmesini ve/veya yayımlanmasını engellerken, aynı zamanda yarar sağlayacak bilimsel ilerlemeyi de engelleyebilir (Selgelid, 2013).

Biyolojik bilimlerdeki araştırmaların ikili kullanım bağlamında ayrıntılı etik analizleri, araştırmaların gerçek ve potansiyel yararlarını ve yüklerini; bu yararların ve yüklerin gerçek ve potansiyel alıcılarını/taşıyıcılarını niteleyecektir. Bu analizler aynı zamanda bir dizi öne çıkan politika seçeneğini de belirleyecek ve her seçenek mevcut ve gelecekteki yararlar ve yükler ile bunların alıcıları ve taşıyıcıları arasında birtakım ödünleşmeyi içerecektir. Bu seçeneklerin tasarımı ve seçim süreci, büyük ölçüde insan hakları ilkeleri (yaşam hakkı, ifade özgürlüğü, akademik özgürlük gibi), yarar ve adalet ilkesi dahil olmak üzere çeşitli etik ilkelerin uygulanmasından oluşacaktır (Miller ve Selgelid, 2008b).

En iyiyi yapma potansiyeline sahip gelişen teknolojilerin çoğu, aynı zamanda en büyük zararı verme olasılığı bulunan teknolojilerdir. Yaşam bilimlerindeki gelişmeler, ikili kullanım fenomeninin önemini arttırmıştır (Tucker, 2012). Sentetik biyoloji de yeni bir teknobilim olarak birçok alanda yararlı uygulamalar vadetse de, kötüye kullanım riskini de beraberinde getirmektedir (Kelle, 2012).

Sentetik biyolojideki ikili kullanım, özellikle biyogüvenlik konuları ile ilişkilendirilmiştir (Heavey, 2017; Holm, 2017; Newson, 2011; Newson, 2015; Rager-Zisman, 2012 ve Raho, 2014). Sentetik biyoloji, geniş ölçekli ilaç sentezi, biyoyakıt üretimi, yeşil kimyasal üretim, antibiyotiklere dirençli mikroorganizmalar için biyoremediasyon araçların geliştirilmesi gibi olası uygulamalar ile önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla beraber, sentetik biyoloji, biyolojik silahların ideal özelliklerini taşıyacak organizmaların üretimi için de gelişmiş teknolojilere sahiptir ve yayımlanan bilimsel bilgilerin kötü amaçlar için kullanılabileceği endişesini arttırmaktadır. Biyolojik bir silah oluşturmak, ajanları işlemek ve geliştirmek, izole etmek ve yayılmasını sağlamak beceri ve teçhizat gerektirmektedir. Bu nedenle, bir işlemin mühendislik, kullanım veya sunum kolaylığını arttıran herhangi bir tıbbi ilerleme, zararlı amaçların uygulanma potansiyeline sahiptir ve bu nedenle ikili kullanım olarak kabul edilmektedir. Sentetik biyoloji alanında üretilen bilimsel bilgi kümülatif olarak artmaktadır. Artan bu bilimsel bilgiye, belirteçlere veya ekipmana erişim, daha tehlikeli biyolojik silah oluşturabileceği riskini ortaya çıkarmaktadır (Rager-Zisman, 2012).

Sentetik biyoloji bağlamında ikili kullanım endişesi için birtakım öneriler göze çarpmaktadır. Bu endişelerdeki temel nokta, bilim insanları tarafından sentetik biyoloji araştırmalarının sonuçları ve riskleri hakkında fazla bilgiye sahip olunmamasıdır. Ancak, araştırmanın yararları ve zararları bilimsel gelişmelerle ortaya çıkacaktır (Heyd, 2012). Bu noktada, bilim insanlarının topluma karşı bir sorumluluğu vardır ve özellikle ikili kullanım endişesi bulunan araştırmalar yürütülürken, bu araştırmaların bir parçası olarak biyogüvenlik konusundaki sorumluluğu da kabul etmelidirler (Heyd, 2012 ve Rager-Zisman, 2012). Etik değerlendirmelerde bilinçli bir cahillik yapılmamalıdır. Olası yararları karşı olası zarar dengelemesi yapılırken, bu araştırmalarda tehlikeli uygulamaları en aza indirecek ve etik bir zorunluluk olarak yararları geliştirecek ve en kötü durum senaryolarının meydana gelme olasılığını en aza indirecek düzenlemelerin yapılmasına özen gösterilmelidir (Heavey, 2017).

Sentetik biyolojinin ikili kullanımı için sistematik bir ihtiyati yönetim yaklaşımı önerilmiştir. Bu sistematik ve sürdürülebilir yaklaşımın kapsamının, içeriğinin ve süreçlerinin belirlenmesinde hem ulusal hem de uluslararası bir işbirliği gerekmektedir (Kelle, 2013).

Bilgi etiği açısından bir diğer konu, üretilen bilginin ticarileşmesi ve kamu yararı açısından nasıl kullanılabileceğine ilişkin kaygıya dayanmaktadır. Bu bağlamda kamu yararının korunmasına dikkat çekilirken, bilgiye ilişkin fikrî mülkiyet hakları konusunda da düzenlemeler yapılması gerektiği belirtilmiş; yine devletlerin araştırmacılara ve bilgiye kolayca erişemeyecekler için yardımcı politikalar geliştirmesi ve düzenleyici olması gerektiği ifade edilmiştir (Saukshmya ve Chugh, 2010).

Bu noktada bilgiye ilişkin adil erişim konusunda bir kaygının duyulduğunu ifade etmek mümkündür. Bilgiye erişim ve bilginin dağılımı konusunda toplumcu bir perspektifin genel yarar açısından önemsendiği söylenebilir. Özellikle bilgi üretimini ve bilgiyi salt kendinde bir değer olarak görmek yerine, bilginin günümüzde tüm

insanları ve toplumları ilgilendiren temel bir şey olarak konumlandırılması önemlidir. Bu söylem son dönemde sentetik biyolojiyi de içeren gelişmekte olan teknolojilerde ortaya çıkacak yararları herkesin eşit bir şekilde ulaşabilmesini öneren söylemlerle uyumludur. Bilgi ve teknolojiye dayalı, bilgiyi içeren bir adaletsizliğin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki uçurumu daha da derinleştireceği korkusu da bir diğer önemli konudur.

Teknoloji özellikle modern dönemle beraber hayatın merkezine yerleşmiş ve felsefe de buna duyarsız kalamamıştır. Tarih boyunca teknolojiye genel olarak insan edimi olarak olumlu bir anlam yüklenmiş; olumsuz sonuçlar ise genelde teknolojiyi kullanma biçimine veya kullananlara atfedilmiştir (Franssen ve ark., 2022).

Tarihsel olarak özellikle Rönesans ile birlikte teknolojik yeniliklerle ortaya çıkan sosyal yarar, teknolojiye ilişkin olumlu görüşlerin artmasında etkili olmuştur. Teknolojik gelişmelere ilişkin bu olumlu tavır, on dokuzuncu yüzyıl ve endüstri devrimiyle devam etmiştir. Bununla beraber, on dokuzuncu yüzyıl sonu ve yirminci yüzyılın başında teknolojiye ilişkin şüpheler artmaya başlamış; makinelerin insanlığın yerine geçeceği kaygısı ortaya çıkmıştır. On dokuzuncu yüzyılda Ernst Kapp tarafından teknoloji felsefesi kavramı ile kez ortaya atılmıştır (Franssen ve ark., 2022). Bu dönemde yapılan teknoloji felsefelerinin çoğunda ya bilim felsefesi dikkate alınmamış ya da bilim felsefesine dahil edilmemiştir. Bunun başlıca nedenleri, bilimin şeylerin olduğu gibi, kültürel ve sosyal önyargılar ve kısıtlamalar olmadan, doğrudan yorumlanmamış basit bir ifadesi olduğudur. Aynı zamanda, teknoloji uygulamalı bir alan olarak kabul edilmiş, onun temelde iyi bir şey olduğu ve bu nedenle teknolojiyle ilgili özel felsefi sorunların ortaya çıkmayacağı düşünülmüştür (Dusek, 2006). Bu durumun temelde teknolojiye atfedilen araçsal değer ile ilgili olduğu söylenebilir.

Bu bağlamda teknoloji felsefesinin ilk döneminde eleştirel felsefenin temelinde insan yer almış ve teknoloji insana ikincil olarak eleştiri konusu yapılmıştır. Bu felsefenin temelini sosyal bilimler ve beşerî bilimler oluşturmuştur. Teknoloji,

insanın amaç ve değerlerinden kaynaklandığından beşerî bilimlerin teknolojilere göre önceliği kabul edilmiş ve teknolojiye bu şekilde yaklaşılmıştır (Mitcham, 1994). Bu yaklaşımda teknolojinin kendisi büyük ölçüde verili; kara bir kutu, üniter, tek parça ve kaçınılmaz bir olgu olarak kabul edilmektedir. İlgili alanları bu olgunun kendisini analiz etmek ve anlamaktan çok, onun ahlak, politika, toplum yapısı, insan kültürü, insanlık durumu veya metafizik ile ilişkilerini kavramaktır. Bu konuda teknoloji eleştirilmekte ve teknolojinin insan toplumunu ve kültürünü olumsuz etkilediği savunulmaktadır (Franssen ve ark., 2022). Bu eleştirel tutumun yirminci yüzyılın son çeyreğinde ortaya çıkan teknolojiyi riskler, insanlık ve doğanın geleceği gibi kaygıları dikkate alan bir ihtiyatlılık ve dikkatli değerlendirmeye davet eden söylemleri etkilediği ifade edilebilir.

Analitik teknoloji felsefesi olarak adlandırılan bir diğer yaklaşım, beşerî bilimlerin teknoloji felsefesine alternatif olarak geliştirilmiştir. Temelinde teknoloji bulunan bu yaklaşımda, teknolojinin toplum ile ilişkisi, teknoloji merkeze alınarak analiz edilmektedir. Bu yaklaşımda teknolojiye bir kara kutu olarak değil; ayrıntılı olarak incelenmesi gereken bir olgu olarak bakılmaktadır (Franssen ve ark., 2022). Bu yaklaşımda felsefi söylem ve sorgulama kavramlarına vurgu yapılmak, analize odaklanmak ve büyük sorunları daha küçük parçalara bölmek ve genellikle formel mantık ilkelerini kullanmak söz konusudur. 1920'lerin sonlarından 1950'lerin sonuna kadar bu düşünce en önemli zamanlarını yaşamıştır. Daha sonraki dönemlerde bu yaklaşım bir yöntem olarak anılmaya başlamıştır (Franssen, 2022).

Teknolojiye yönelik farklı felsefi tutumlar, teknolojinin tanımıyla ilgilidir. Teknolojinin üzerinde uzlaşılmış bir tanımını yapmak zor olsa da, temel iki özelliği öne çıkmaktadır. Bunlar araçsallık ve üretkenliktir. Araçsallığın temelinde insanın çevresini ve dünyasını akılcı bir şekilde araçlar kullanarak kontrol etme çabası; üretkenliğin temelinde ise insanın çevresini ve dünyasını akılcı bir biçimde yeni araçlar yaratarak kontrol etme çabası bulunmaktadır. Genellikle araçsal bakış, beşerî bilimlerin teknoloji felsefesi yaklaşımını; üretkenlik ise daha çok analitik teknoloji felsefesi yaklaşımını yansıtmaktadır. Modern dönemle birlikte, bu sınırlar silikleşmiş ve bu iki özellik iç içe geçmiştir (Franssen ve ark., 2022).

Gerek ontolojik gerekse de araçsallık ya da üretkenlik açısından söz konusu bu silikleşmenin gelişen teknolojilerle birlikte arttığı söylenebilir. Temel kolaylaştırıcı teknolojiler (mikro ve nano elektronik, nanoteknoloji, endüstriyel biyoteknoloji, gelişmiş materyaller, fotonik ve ileri üretim teknolojileri) dahil olmak üzere gelişen teknolojiler, insanlık ve çevre için önemli yararlar vaat etmektedir. Bununla beraber, bu teknolojiler gözlem ve izleme için belirsiz veya test edilmemiş mekanizmalarla birlikte özellikle biyogüvenlik ve biyoemniyet konuları başta olmak üzere, belirsiz riskler içermektedir (Linkov ve ark., 2018).

Sentetik biyoloji ve etiğe ilişkin tartışmalarda ağırlıklı olarak yer alan konulardan biri alana ilişkin riskler ve olası olumsuz sonuçlardır. Bu bağlamda risk kavramı ve onun altında farklı türden sorunlardan bahsedilmektedir. Ancak sentetik biyolojiye atfedilen son modern teknoloji olma durumu, riskin içeriğini de diğer teknolojilerden ayırmaktadır. Sentetik biyoloji bağlamında riskin, insan, doğa ve dünya açısından ontolojik bir tehdit algısını içerdiği söylenebilir; bu anlamda klasik (mekanistik) teknolojilerden önemli bir biçimde ayrılmaktadır. Bu durum daha erken ve proaktif ve ihtiyati yaklaşımların bir önlem yaklaşımı olarak öne çıkmasını sağlamıştır. Aynı zamanda kimi yazarlarca eleştirilen sentetik biyoloji araştırmalarına ve ürünlerine yönelik aşırı kaygılı tepki ve önlem söylemleriyle de ilişkilidir. Bununla beraber, insanlığın yararı ve sentetik biyoloji ürünlerinin gerek mevcut sağlık sorunlarına gerekse de çevresel ve ekonomik sorunlara çözüm olacağı inancı bu tartışmaları ilginç bir hale getirmektedir.

Bu bağlamda sentetik biyoloji ürünlerinin ve sentetik biyoloji çalışmalarının Kant'ın kategorik buyruğuna benzer bir anlama sahip olduğu ve translasyonel çalışmalarla sentetik biyolojinin pratik sonuçlarının ortaya konulması gereken bir ahlaki yükümlülük olarak konumlandırılması önemlidir (Heidari Feidt ve ark., 2019). Böyle bir analiz, yararçı bir yaklaşım tarafından belirlendiği düşünülen bilimsel araştırmalara farklı bir yorum getirmektedir. Yararçı bir yaklaşımın bu çalışmaların etik olarak teşvik edileceği ve topluma ve daha geniş ölçekte insanlığa yarar sağlayacağı beklenmektedir (Heidari Feidt ve ark., 2019). Aynı zamanda bu

tartışmanın sadece akademik çevre ile sınırlı kalmayacağı, politik ve ekonomik beklentilerle belirleneceği de düşünülmektedir.

Sentetik biyolojinin yol açacağı yıkıcı sonuçlar, sentetik biyolojinin eşik değerine sahip bir teknoloji olmasının özelliğidir. Bu durum, sentetik biyolojinin temelde öngörülemeyen fırsatlar ve uygulamalar sunması anlamına gelmektedir. Daha açık bir ifadeyle, sentetik biyoloji ürünlerinin yapılarının gelişmeye; dolayısıyla öngörülemeyen şekilde değişme yeteneğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Holm, 2019).

Sentetik biyolojiye ilişkin temel risklerden biri, canlılar ve ekosistemler üzerindeki etkisi ile ilgilidir. Sentetik biyoloji ile elde edilen ve doğada benzeri bulunmayan organizmaların çevreye salınması, bu organizmanın çevre ile nasıl bir etkileşime girebileceği konusunda şüpheler uyandırmaktadır. Bunun yanı sıra, risklerden bir diğeri de genetik olarak manipüle edilmiş organizmaların kazara çevreye salınması sonucunda meydana gelebilecek kontaminasyondur. Genellikle iyi tanımlanmış ve öngörülebilir özelliklere sahip sentetik olarak üretilen kimyasal maddelerin aksine, biyolojik organizmaların kontrol edilmesi daha zordur. Düzgün yönetilemeyen herhangi bir kaza veya salınım, bu organizmaların doğada bulunan diğer canlılar ile geçişlere ve kontrolsüz çoğalmalara neden olarak biyolojik çeşitliliği tehdit edebilir (Rohregger ve ark., 2020).

Sentetik biyolojinin en çok kullanım alanının olması beklenen enerji sektöründe de riskler yaratabilir. Özellikle yakıt hammaddesi olarak biyokütlenin (fosilleşmemiş biyolojik materyal) kullanımı, doğanın tamamının biyokütle olarak kategorize edilmesini ve gezegendeki biyokütle kullanımının katlanarak artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Tarım alanındaki olası riskler ise kontrolsüz çevresel sızıntılar, yeni veya dirençli haşerelerin kontrolünün zorluğu, istilacı türlerin direncinin artması nedeniyle oluşabilecek zararlardır (Rohregger ve ark., 2020).

Elde edilen bulgulara göre, sentetik biyoloji ile ilgili etik endişeler iki temel kategoriye ayrılmaktadır. Bunlardan fiziksel zararlar genel olarak sentetik biyolojinin sağlık, güvenlik ve çevresel etkileriyle bağlantılı risklerine ve sonuçlarına ilişkin endişeleri; fiziksel olmayan zararlar ise daha çok ahlaki değerler, ahlaki sonuçlar, genel refah ve sosyal adalet ile ilgili endişeleri içermektedir (Newson, 2011 ve Race ve ark., 2012).

Fiziksel zararların başında biyogüvenlik ve biyoemniyet konuları gelmektedir (Newson, 2011). Aralarındaki ayrım çok net olmamakla birlikte, fiziksel olmayan zararlar ise sentetik biyolojinin bireylerin ve toplulukların iyiliğine zarar verebilecek amaçları veya uygulamaları içerir (Newson, 2011 ve Race ve ark., 2012). Sentetik biyolojinin olası fiziksel olmayan zararları, insanların yeni varlıklar yaratmadaki rolü ve bunun benlik kavramlarını ve çevre ile ilişkileri nasıl etkileyeceğidir (Newson, 2011). Daha önceki temalarda tartışılan ahlaki konum da fiziksel olmayan zararlar kategorisi içerisinde yer almaktadır.

Sentetik biyoloji yararlarının adil paylaşımı ve ticari fayda konuları da olası fiziksel olmayan zararlar arasındadır. Sentetik biyolojinin canlı varlıkların çoğalma mekanizmalarını kullanabilmesi, bu alan için önemli bir yarardır. Bu sayede, laboratuvarlarda üretilen cihazların, birimlerin veya süreçlerin geliştirilmesinin gelişen diğer teknolojiler kadar masraflı olmayabileceği tahmin edilmektedir. Bununla beraber, bu teknolojileri herkesin yararlı kullanımına açabilmek için gerekli altyapı ile ilgili sorunlar ortaya çıkacağı endişesi söz konusudur (Newson, 2011).

Adil paylaşıma çelişkili gibi görünen bir başka olası fiziksel olmayan zarar, ticari yarardır. Bütün bilimsel disiplinlerde olduğu gibi, sentetik biyolojide de fikri mülkiyetin neden olabileceği kısıtlamalara dikkat edilerek, yeniliği teşvik etmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla beraber, patent sahiplerinin karşı karşıya gelme endişesi dile getirilmektedir. Bu bağlamda farklı sentetik varlıklar için farklı düzeylerde fikri mülkiyet koruması sunmak ve daha karmaşık organizmalar için daha fazla koruma sağlanması önerilmektedir (Newson, 2011).

Biyoenmniyet, bulaşıcı mikroorganizmaların ve tehlikeli biyolojik materyallerin güvenli bir şekilde işlenmesini ve muhafaza edilmesini içeren bir disiplindir (ten Have ve do Céu Patrão Neves, 2021a). Patojenlere ve toksinlere kasıtsız olarak maruz kalmayı veya bunların kazara salınmasını önlemek amacıyla uygulanan koruma ilkelerini, teknolojilerini ve uygulamalarını ele alır (World Health Organization, 2020). Biyogüvenlik ise insan, hayvan ve bitki yaşamı ve sağlığı ile ilişkili çevre risklerini analiz etmek ve yönetmek için politika ve yasal düzenleme çerçevelerini içeren stratejik ve bütüncül bir yaklaşımdır (FAO, 2007). Patojenlerin doğal oluşumuyla, kazara salınımıyla veya kasıtlı kullanımıyla popülasyonları etkilemesine odaklanır (ten Have ve do Céu Patrão Neves, 2021b).

Sentetik biyoloji bağlamında biyoenmniyet konusu, sentetik organizmaların laboratuvar dışına kasıtlı veya kasıtsız olarak salınması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu tür organizmaların salınımı sonucunda diğer canlılar ile beklenmedik bir şekilde etkileşime girme riski söz konusudur. Sentetik biyologların canlı organizmalar üzerinde çalışmaları ve bu canlılar üzerinde bilinmeyen düzeylerde değişiklik yapmaları, yine bu canlıların tam olarak bilinemeyen veya kavranamayacak kadar karmaşık bir yapıya sahip olmasına neden olabilir. Bu durum, tarım, çevre ve insan sağlığı için önemli tehditler oluşturma olasılığına sahiptir (Newson, 2011 ve Raho, 2014). Biyoenmniyet konusundaki tartışmalar, sentetik biyolojide neyin güvenli olduğunun ve bunu kimin belirlemesi gerektiğini de içermektedir. Katı standartların olması gerektiği genel bir fikir birliği bulunsa da, bunların ne olması gerektiği konusunda tam bir görüş birliği bulunmamaktadır.

Sentetik biyoloji potansiyel olarak tehlikeli virüsleri ya da bakterileri üretme, çoğaltma ve değiştirme imkânı sunmaktadır. Sentetik biyoloji bağlamında biyogüvenlik sorunları genel popülasyonun riske maruz kalması ile ilgili önemli sorunlara işaret etmektedir. Bu sorunlar, sentetik biyoloji ürünlerinin biyoterörizm gibi kötücül eylemlerde bulunmak isteyenler tarafından olası kullanımlarından ortaya çıkmaktadır (Newson, 2011 ve Raho, 2014). Bu bağlamda, olası zararların düzeyini belirlemek zor ve bireysel veya grup eylemlerinin ise denetlenmesi pratik olarak imkânsızdır (Ahteensuu, 2017). Biyogüvenliğe ilişkin endişelerin çoğu, bir araştırma

merkezinin dışındaki başka bir ortamda, sentetik biyoloji araştırması yapabilecek gerekli malzemelerin görece kolaylığından kaynaklanmaktadır. Bu durum, daha önce de bahsedilmiş olan ikili kullanım endişesini gündeme getirmektedir.

Sentetik biyoloji doğası gereği farklı disiplinlerden araştırmacılardan oluşmaktadır. Bu bağlamda her disiplindeki sorumlu araştırmayı neyin oluşturduğu konusunda araştırmacıların farklı davranış kurallarına veya farklı beklentilere sahip olması muhtemeldir. Araştırmacıların kendi alanlarının sonuçlarını değerlendirmeleri önemli olsa da sentetik biyoloji alanının gelişmesiyle birlikte daha bütüncül bir bakış açısının ve değerlendirmenin önem kazanacağı düşünülmektedir (Newson, 2011). Bu bağlamda, sentetik biyoloji alanına yönelik bir meslek etiğine ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir.

Sentetik biyoloji ile ilgili hem biyoemniyet hem de biyogüvenlik ile ilgili endişeler, diğer teknolojilerden farklı olarak çalışma öznesinin canlı bir varlık olmasından ve bu teknolojinin bilinmeyenlerin çok ve olası yıkıcı gücünün fazla olmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Sentetik biyolojide riskli durumlarda karar verme konusu da önemli bir tartışma alanıdır. Risk ve karar verme kavramları uzun zamandan beri teknoloji, ekonomi ve yönetsel alanlarda gündemdedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi, sentetik biyolojinin farklılaşan teknolojik yapısı, riskin boyutunu da değiştirirken, aynı zamanda “karanlıkta karar verme” kavramı ile ilişkilendirilmiştir. Bu kavram temelde alanda karar vermenin ve riski öngörmenin alana içkin zorluğuna işaret etmektedir (Holm, 2019). Bu durumda atıf yapılan bir yaklaşım ihtiyat ilkesi olmuştur.

İhtiyat ilkesi, belirsizliği yüksek risklerle başa çıkılması gereken durumlarda yardımcı olan bir karar verme aracıdır. Başlangıçta çevre hukuku ve politikası alanında ortaya çıkmışsa da 1970’lerden sonra sera gazlarının ve buna bağlı iklim değişikliğinin küresel, potansiyel olarak geri döndürülemez ve büyük ölçüde

bilinmeyen etkilerinin artması sonucunda bilinirliği artmıştır. Temel noktası, risklerin ortaya çıkma olasılığına veya büyüklüğüne ilişkin önemli belirsizliklere rağmen koruyucu önlemlerin alınabileceği düşüncesidir. Buna göre, belirli bir etkinliğin sonuçlarının tahmin edilmesinin zorluğu, karar vericileri zarar olasılığını önlemek veya en azından zararı azaltmak için adım atmaya engel olmamalıdır; kararlar, sonuçlar tam olarak anlaşılmadan önce alınabilir (Holm ve Ellen, 2012).

İhtiyat ilkesinin kullanımı, zaman içinde çevresel konuların dışına çıkararak sağlığın korunması, yeni biyoteknolojilerin düzenlenmesi gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmış; çevre ve insan sağlığının korunmasına ilişkin konular ve bunlarla ilgili politikalarda etkili ilkelerden biri olarak pratik etiğin önemli bir unsuru haline gelmiştir (Holm ve Ellen, 2012). Sentetik biyoloji de bu alanlardan biridir. Sentetik biyolojide ihtiyat ilkesi oldukça kapsamlı ele alınmış ve birden fazla unsuru dikkate alan bir risk değerlendirme yaklaşımı olarak kullanılması önerilmiştir. Son dönemdeki araştırmalarda toplumun da sürece dahil edilmesi, demokratik toplumun bir gereği olarak savunulmaktadır. Sentetik biyolojinin geleceğe yönelik riskleri ve dinamik yapısı düşünöldüğünde bu söylem uygun görünmektedir. Bununla beraber, bilimsel araştırmalarda toplumsal kabul edilebilirlik ve şeffaflık son dönemde oldukça önemli bir konu haline gelmiştir.

İhtiyat ilkesinin eleştirel tartışmasından ortaya çıkan proaktif ilke de sentetik biyoloji alanında kendine yer bulmuştur. Proaktif ilke, tüm tarafları karşı karşıya olunan gerçek tehditlere karşı ihtiyati tedbirleri paylaştırırken, bir etkinliğin iyi veya kötü tüm sonuçlarını etkin bir biçimde göz önünde bulundurulmasını teşvik etmektedir. Bu ilkenin odağında, bilimsel araştırmaların ve teknolojik yeniliklerin insanlık yararına uygulanmasına yönelik bir taahhüt bulunmaktadır (More, 2013).

Proaktif ilke, yan etkiler ve riskler konusunda farkındalığı arttırırken, insan yararına teknolojik ilerlemeyi en üst düzeye çıkarmak için kapsayıcı, yapılandırılmış bir süreci ifade etmektedir. İlkenin, nesnel ve kapsamlı olma, doğal ve insani risklere

öncelik verme, farklı bilgileri benimseme, müdahalede ve tazminde dengeli olma ve yeniden değerlendirme olmak üzere beş bileşeni bulunmaktadır (More, 2013).

Sentetik biyoloji bağlamında kimi yazarlara göre, proaktif bir yaklaşım yenilikleri yönlendirmek için araştırma özgürlüğünü ve ticari yararı en üst düzeye çıkaracak; dikkatsizliği ise asgari düzeye düşürecektir (Newson, 2011). Bu yaklaşımı savunanlar, ciddi fiziksel bir zarar olacağından şüphelenmek için iyi bir neden olmadıkça, teknolojinin gelişimine müdahale edilmemesi politikasını onaylamaktadır. Yasal düzenlemelerin en aza indirilmesini savunan destekçileri, bunun yerine öz yönetimi tercih etmektedir. Bununla beraber, Sentetik biyolojinin riskleri ve yararları hakkında toplumun eğitilmesini ve daha bilinçli tüketiciler olmasını savunmaktadır (Race ve ark., 2012).

Daha önce de belirtildiği gibi sentetik biyoloji belli açılardan diğer teknolojilerden ayrılan ve kendine özgü nitelikleri olan bir alan olarak son modern teknoloji olarak adlandırılmaktadır. Bu anlamın içinde kaçınılmaz olarak bilinmezlik ve öngörüye ilişkin kaygılar da yer almaktadır (Schmidt, 2015). Hem yeni ve sürekli dönüşme potansiyeli olan bir alan hem de temel bilim ve uygulama alanı olan sentetik biyolojide, toplumsal ve etik açıdan sorumluluk kavramı öne çıkmaktadır (Giese ve ark., 2015).

Alana ilişkin temel kaygılardan biri, temel bilim bilgisi ile uygulama arasında henüz yeterince aydınlatılamamış boşluklardır. Bu bağlamda, uygulama ile sonuçlar açısından belirsizlik ve öngörü sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu önemli bir kavram olan risk konusunun yanı sıra sorumluluk, sorumlu geliştirme, araştırma gibi kavramları da gündeme getirmektedir (Giese ve ark., 2015).

Bu bağlamda kendisi de bir biyoetikçi olan Hans Jonas gibi yazarların da çalışmalarının etkili olduğunu ve alana ilişkin tartışma ve kavramlar açısından belirleyici olduğu yorumu yapılabilir. Örneğin, Jonas henüz sentetik biyoloji tam olarak yerleşik hale gelmeden biyolojinin mühendislik ile yakınlaşmasını fark etmiş

ve alanın sınırlarına ve geleceğine yönelik önemli öngörülerde bulunmuştur. Alana ilişkin kimi tartışmanın ve kavramın şekillenmesinde belirleyici bir yere sahip olan Jonas açısından sorumluluk etiği son derece önemli bir kavramdır (Schmidt, 2015).

Aydınlanmayla birlikte bilime ve bilim insanına atfedilen içsel olumlu, yarara yönelik olma, tarafsızlık gibi anlamlar ve bilginin objektif olduğu düşüncesi, yirminci yüzyılda teknobilimin güç ile ilişkisinde olumlu ve olumsuz sonuçların ortaya çıkması, bilime ve bilim insanına atfedilen sorumluluk kavramının yeniden düşünülmesini ve genişletilmesi gerektiğini gündeme getirmiştir. Yirminci yüzyıl ortalarından itibaren teknobilimin hem yararlı olma hem de zarar verme gücü netleştikçe, bilimde sorumluluk tartışmalarının da genişletilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu genişleme, sadece dış etkiler ve risklerin tartışılmasına değil; aynı zamanda bilimin amaçlarının ve altında yatan itici gücün değerlendirilmesi anlamı da taşımaktadır. Bu durum, belirsizlikler ve etik dikkate alındığında sentetik biyoloji ile doğrudan ilişkilidir (Macnaghten ve ark., 2016).

Sentetik biyoloji ve teknoloji alanındaki gelişmelere ampirik, etik, epistemolojik bir modele dayanan sorumlulukla yaklaşılması önerilmektedir. Sorumluluk söyleminin dayanağı, özellikle sentetik biyolojinin klasik temel bilimlerden belli açılardan farklılaşmasıyla ilişkilidir. Sentetik biyolojiye kadar temel bilimler, temelde doğal dünyayı anlamaya yönelik iken sentetik biyolojinin yeniden dizayn etme ya da yaratma gibi özellikleri, onu temel bilimin ötesine geçirerek farklı bir yere konumlandırmaktadır. Bu bağlamda, teknobilim olarak da nitelendirilen sentetik biyolojinin bu özelliği bilimsel yönünü oluştururken, alanın uygulamaya yönelik özelliği ise bilimsel yönünün yanı sıra etik ve kültürel öğeleri de içeren sorumlu geliştirme, araştırma ve yenilik gibi kavramların sıkça vurgulanmasını beraberinde getirmiştir (Grunwald, 2015).

Sorumlu yenilik ve araştırmanın tarihsel öncülleri veya ilgili kavramları ELSI (Amerika)/ELSA (Avrupa) (*Ethical, Legal, Social Implications/Aspects*) programlarına dayanmaktadır. 2002-2012 yılları arasında altın çağını yaşayan ELSI/ELSA modeli, İnsan Genom Projesi de dahil olmak üzere, büyük ölçekli bilimsel programların içinde yer almış; teknolojik ilerlemeler ile sosyal süreçler arasındaki etkileşimde rol oynamıştır. Klasik teknoloji değerlendirme modellerinin aksine, bu programlarda etik ve yasal konular ele alınmış; bu nedenle de farklı paydaşlarla işbirliği içinde disiplinlerarası çalışmalar yürütülmüştür (Gregorowius ve Deplazes-Zemp, 2016).

Sorumlu araştırma ve yenilik modeli, 2010'lu yıllarda ortaya çıkan yeni ve ELSI/ELSA modelinin birçok unsurunu da içinde barındıran bir yönetim yaklaşımıdır (Gregorowius ve Deplazes-Zemp, 2016 ve Zwart ve ark., 2014). Sadece söz konusu teknoloji geliştirildikten sonra ortaya çıkan sonuçları ve çıkarımları değerlendirmeyi değil; teknolojinin geliştirilme sürecinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Gregorowius ve Deplazes-Zemp, 2016).

Sorumlu yenilik ve araştırma sadece etik üzerine bir akıl yürütme ve değerlendirme ile sınırlı değildir. Özellikle gelişen teknolojilerin epistemolojik konumları ve alanda üretilen bilginin belirsizlikleri öngörme açısından ne anlama geleceği de bu alanda çalışan araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken bir konudur. Bu, sorumluluk içinde epistemolojik sorunların da dikkate alınması anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra, sorumlu araştırma, geliştirme ve yenilik, gücün ne şekilde dağıtıldığı, paydaşların ve kullanıcıların katılımı, alana ilişkin yönetsel ve iletişim süreçlerinin ne şekilde olduğuna ilişkin ampirik olarak değerlendirilebilir konularla da ilgilenmelidir. Bu nedenle, sorumlu araştırma ve yenilik kavramının, etiği içerdiği gibi, epistemolojik ve ampirik konuları da içeren bir biçimde ele alınması önerilmektedir (Grunwald, 2015).

Sorumluluğa ilişkin süreçler, demokratik bir katılımı ile ele alınmalıdır. Bunun yanı sıra, iyi bilimsel uygulamalar, bugünün sorumluluğunun geleceğe ilişkin nesilleri ilgilendireceği, sorumluluğa ilişkin düşünmenin sürekliliği, sorumluluk kavramının demokrasiyle sıkı bir biçimde ilişkilendirilmelidir. Bu bağlamda, sorumluluğa ilişkin konuları yalnızca etikçiler değil, aynı zamanda bilim felsefecileri, siyaset bilimciler, sosyal bilimciler, yönetim konularında çalışan araştırmacılar ve özellikle biyologların da dahil olduğu disiplinlerarası ekipler tarafından ele alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu paydaşların yanı sıra bilim alanı dışındaki bağımsız aktörlerle de işbirliği yapılması önemlidir. Ancak bu sayede sorumluluk konusu etik, ampirik ve epistemolojik olarak çok boyutlu ve demokratik bir biçimde ele alınmış olacaktır (Grunwald, 2015).

Özellikle sorumlu araştırma ve yenilik kavramı ile birlikte geleceğe yönelik riskleri öngörme ve etik bir pozisyon alma olanaklarının artırılması önemli bir çabadır. Son dönemde bu kavramsal çerçeveyi desteklemek için geleceğe yönelik senaryolar tasarlama şeklinde ampirik çalışmalara başlandığı söylenebilir. Bu bağlamda normatif etik söylemler üretilebileceği düşünülmektedir (Betten ve ark., 2018). Ayrıca gelecek üzerine düşünmenin aynı zamanda sorunları çözme ve süreci dönüştürme olanaklarına da katkı vereceği belirtilmektedir (Selin, 2008). Sonuç olarak, geleceğe ilişkin beklentiler ve öngörüler sentetik biyolojiye ilişkin tartışmaların merkezinde yer alacak gibi görünmektedir. Bu bağlamda bu alanda disiplinlerarası çabalar görmek mümkündür. Ancak bunun hem bilimi ketlemeyen hem de etik duyarlılıkları önceleyen bağımsız ve karar verme gücüne sahip yapılandırılmış kurumlarca yapılması önemlidir.

Sentetik biyolojinin sağlık alanındaki olası uygulamaları fiziksel ve fiziksel olmayan endişelerden farklı olarak sentetik biyolojinin ticarileştirilmesi, sentetik biyoloji turizmi ve tedaviye erişim gibi farklı endişeleri de gündeme getirmektedir. Bu bağlamda sentetik biyolojinin araştırma ve sağlık hizmetlerinin düzenlenmesinde uluslararası tutarsızlıkları ve tedavi farklılıklarını ortaya çıkaracağından endişe edilmektedir. Kaynak kısıtlamaları veya düzenleyici engeller nedeniyle tedaviye ulaşamama sonucunda insanların bu tedavileri elde etmek için diğer yerlere seyahat

edeceđi; bu durumun da hem sađlık hem de arařtırma turizmini teřvik edeceđi dűřűnűlmektedir (Chan, 2018).

Bir yetki alanındaki dűzenlemelerin çok kısıtlayıcı olması ya da öyle algılanması, bilim insanlarının ve biyoteknoloji řirketlerinin arařtırma etkinliklerini daha serbest bir alana tařmasına neden olabilir. Bu da bilimsel alanda geride kalma ve yerel biyoteknoloji sektrűnűn ekonomik olarak deđer kaybı endiřesini beraberinde getirecek; olası etik itirazlar ve uygun dűzenlemeler bakımından hem ekonomik hem de politik sonuçlara neden olacaktır (Chan, 2018).

Fikri műlkiyet konusuna ek olarak, sentetik biyoloji tedavilerine yönelik araştırmalardaki kâr beklentisi, bu tedaviler için alıcı bir pazar sağlamak için baskı yaratacaktır. Böyle bir baskı, sentetik biyolojinin sağlık uygulamalarının aktif pazarlanmasını teşvik edecek ve bu, halkın bu teknolojilere ve genel olarak sentetik biyolojiye yönelik beklentisini, anlayışını ve tutumunu da etkileyecektir (Chan, 2018).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sentetik biyoloji tanımı gereği iki önemli etkinliğe atıfta bulunmaktadır. Bunlardan biri yeni biyolojik parçaların, cihazların ve sistemlerin tasarımı ve inşası; diğeri ise mevcut doğal sistemlerin yararlı amaçlar için yeniden tasarlanmasıdır. Alanı incelemenin zorluğu, neyi kapsadığını tanımlamakta yatmaktadır. Sentetik biyolojinin en heyecan uyandıran yönlerinden biri, kuşkusuz halihazırda kullanımda olan veya olası uygulamalarındaki çeşitliliğidir. Bu bağlamda, hem bilgisayar mühendisliği, elektrik mühendisliği, kimya mühendisliği, makine mühendisliği, bilgisayar bilimleri gibi köklü mühendislik disiplinlerinin yanı sıra biyoloji, biyoteknoloji, kimya, biyokimya, fizik, biyofizik ve tıp gibi yaşam bilimleri alanlarının kesiştiği bir noktadadır. Bu çeşitlilik, alanın farklı yaklaşımlar, bakış açıları ve amaçlar içermesini sağlamaktadır.

Sentetik biyoloji uygulamalarının başta enerji, tıp, çevre ve tarım olmak üzere pek çok alanda önemli yararlar sağladığı ya da sağlayacağı kuşkusuzdur. Özellikle sürdürülebilir kalkınma, açlığın önlenmesi, sağlığın korunması, eşitsizliğin azaltılması gibi küresel insani durumlar için bir umut vaat etmektedir. Bunun yanı sıra, alanın hızlı gelişimi ve dinamik yapısı, etik ve sosyal sorunları da gündeme getirmektedir.

Sentetik biyolojiye ilişkin çok farklı konularda ve geniş yelpazede etik tartışmaların yürütüldüğünü söylemek mümkündür. Bu bağlamda etik tartışmalar bu tez çalışmasında sentetik biyoloji ürünlerinin ahlaki konumları, yaşamın ne anlama geldiği, metaforlar, bilginin kullanımı ve beklentiler, kaygılar ve sorun çözme yolları olarak görünür olmuştur.

Bulgulara bakıldığında, sentetik biyoloji ürünü için bir adlandırma sorunu olduğu görülmektedir. Bir sentetik biyoloji ürününe makine ya da canlı ayrımının yapılması önemli bir fark yaratmaktadır. Böyle tanımlama sentetik biyoloji ürününe

ahlaki olarak atfedilen değeri etkileyecektir. Bu bağlamda iki farklı görüş bulunmaktadır. Bunlardan biri, yaşayan organizmaların içsel bir değeri olduğudur. Bu değer, yaşayan bu organizmanın insanın yararına üretilip üretilmediğinden bağımsız; canlılık ile ilgilidir. Diğer görüş ise, bu canlıların içsel değil; yalnızca araçsal bir değere sahip olduğudur. Bu değer, insan açısından bir araçsallık özelliği taşır ve bu organizmaların insanın yararı için kullanılması gerekçelendirilebilir.

Sentetik biyoloji ürününün varlık olarak ne’liği konusu etik açıdan belirleyici bir tartışma konusu olmuştur. Bu bağlamda, varlıkların yapaylığı, sentetik oluşu veya canlı organizma oluşu tartışmanın temel belirleyicisidir. Bu da kaçınılmaz olarak bu varlıkların ahlaki konumlarını da etkilemektedir.

Bulgularda çeşitli metaforların kullanımının öne çıktığı görülmektedir. Bu bağlamda en çok kullanılan söylemler Tanrı’yı oynama ve makine metaforu olmuştur. Genel olarak metaforlara ilişkin şüpheci ve eleştirel bir yaklaşımın olduğu söylenebilir.

Sentetik biyoloji pratik bir alan olduğu kadar aynı zamanda bilimsel bilginin üretildiği de bir alandır. Üretilen bu bilginin üretim süreci ve anlamı da son derece önemlidir. Üretilen bu bilgi bir yandan yararlar sağlarken; diğer yandan bilginin kötüye kullanımı söz konusu olabilir. Bu da ikili kullanım endişesini gündeme getirmektedir. Yine bu üretilen bilginin adil dağılımı ve ticarileşmesi gibi konular etik açıdan dikkate değerdir.

Sentetik biyolojiyi diğer teknolojilerden önemli ölçüde ayıran özelliği, alanın belirsizliğidir. Sentetik biyoloji, beklenen yararlarının yanı sıra, özellikle insan sağlığı ve çevre için riskler oluşturma özelliğine de sahiptir. Bu bağlamda sentetik biyoloji ve etiğe ilişkin tartışmalarda riskler ve olası olumsuz sonuçlar vurgulanmaktadır. Risk kavramına sıklıkla değinilmiştir. Risk değerlendirme yaklaşımları olarak ihtiyat ilkesi veya proaktif ilke önerilmiştir. Son dönemlerde ise sorumlu araştırma ve yenilikçi yaklaşım ön plana çıkmaktadır.

Sentetik biyolojinin disiplinlerarası doğası düşünüldüğünde, her ne kadar farklı disiplinlerden gelen araştırmacıların farklı yaklaşımları ve amaçları alanın gelişimi için önemli olsa da, bu noktada sentetik biyoloji için bir meslek etiğine duyulan ihtiyaç vurgulanmaktadır. Alanın gelişimi, profesyonel dürüstlük kavramının ön plana çıkmasını sağlayacaktır. Disiplinlerarası çalışma, aynı zamanda, yeni teknolojilerin gelişimi ile özenli ve sorumlu politikaların geliştirilmesi sırasında oluşacak boşluğun azaltılmasında etkili olacaktır.

Bunun yanı sıra, sentetik biyoloji alanın potansiyelini başarılı ve hızlı bir biçimde gerçekleştirebilmek için, toplumun desteğinin de alınması gerekmektedir. Bunun için de toplumun bu konuda eğitilmesi önemlidir. Özellikle sentetik biyolojinin olası risklerinin çözümünde topluma şeffaf olunması, toplumun bu teknolojiyi benimsemesi ve desteklemesi açısından bir gerekliliktir. Olası riskler karşısında bilim insanları topluma karşı sorumludur. Araştırmanın sonuçlarının ilk olarak araştırmacıların elde ettiği düşünüldüğünde, pratik veya kötüye kullanım hakkında toplumu bilgilendirmek yine alanda çalışanların sorumluluğundadır.

Sonuç olarak, alanın gelişme hızı ve dinamik yapısı düşünüldüğünde, olası yararları kadar çeşitli etik kaygıların da her zaman var olacağı kesindir. Bunun yanı sıra, bu kaygılara yönelik nihai bir karara varmak ise mümkün değildir. Ortaya çıkan ya da çıkabilecek sorunlar için sürece ilişkin çok boyutlu bir yöntem kullanılmalıdır. Bu bağlamda en önemli etkenlerden biri, toplumdur; toplumu süreçler hakkında doğru bilgilendirirken, onlardan da katkı alınmalıdır.

Bu tez çalışması temelde betimleyici olsa da, sistematik derlemelerde tekrarlayan biçimde ortaya çıkan önerileri bulmak mümkündür. Bu öneriler normatif bir anlam da ifade edebilirler. Ancak yine de üzerine incelikle düşünülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, tez kapsamında ortaya konulan öneriler, tezin araştırmasında ortaya çıkan ve etik açıdan önemli pratik önerileri ve bizim bunlara katkılarımızı içermektedir. Yine de bunlara eleştirel bakmak mümkündür.

Çalışma kapsamında ortaya konulabilecek öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır:

- Sentetik biyoloji araştırmalarında etik önemli bir yer edinmelidir. Bununla beraber, çalışmalarda etik engelleyici bir konumda değil; aksine araştırma ile beraber yürütmesi gereken bir konumda bulunmalıdır.
- Sentetik biyolojide ortaya çıkan sorunlara tek bir etik yaklaşım uygulamak yerine birden fazla yaklaşımı harmanlamak, sorunların çözümünde daha yararlı ve gerçekçi sonuçlar verebilir.
- Sentetik biyoloji ürünlerinin araçsal ve içsel değerleri açık bir biçimde ifade edilmelidir. Sentetik biyoloji ürünü, insanlık için araçsal bir değerdir. Bununla beraber, ürünlerin daha yüksek organizma sınıfına çıkıldıkça bu canlıların içsel değeri, bilim insanları ve etikçiler tarafından göz ardı edilmemelidir.
- Sentetik biyolojiye ilişkin tartışmalarda, insanın yaratma edimi ve metaforik söylemlerin açığa kavuşturulmasını sağlamak için teolojik etik dikkate alınmalıdır.
- Olası riskler ve yararlar, gerçekçi bir biçimde ele alınmalıdır. Bu bağlamda riskleri değerlendirmede bilgi üretme süreçleri yer almalıdır. Bu süreçlerde etikçiler, özellikle değerlere ilişkin argümanları aydınlatmada yardımcı olmalıdır.
- Hangi risk değerlendirme yaklaşımı kullanılırsa kullanılsın, yararlar ile olası riskler üzerine düşünülmeli, risk ile yararlar arasında bir denge unsuru gözetilmelidir.
- Ulusal ve uluslararası etik ve yasal düzenlemelerden önce, bilim insanları araştırma alanları ile ilgili sorumluluklarını kendileri üstlenmelidir. Bu bağlamda özellikle ikili kullanım özelliğine sahip araştırmalarda bilim insanları kendi özgürlüklerini de kısıtlamadan özdeğerlendirmelerini yaparak gereken önlemleri almalıdır.
- İkili kullanım endişesi içeren araştırmaların yayımlanmasında yayın sürecindeki çeşitli aktörlere de birtakım sorumluluklar düşmektedir. Bu bağlamda bilimsel özgürlüğü de göz önünde bulundurarak bilginin dağıtımına birtakım sınırlamalar getirilmelidir.

- Paydaşlar sürece dahil edilmelidir. Hem sentetik biyoloji alanında çalışan bilim insanları hem de sosyal bilim alanında çalışan akademisyenler, şirketler, idari kuruluşlar ile toplum işbirliği yapılmalıdır. Toplumun sentetik biyoloji ile ilgili farkındalığının artırılması sağlanmalıdır.
- Toplum ile müzakere temel yaklaşımlardan biri olmalıdır. Bu bağlamda toplum doğru bilgilendirilirken aynı zamanda onlardan da katkı alınmalıdır.
- Belirsizliklerin yönetimi için bu alanda çalışanlar ile sivil toplum arasında kurulan bağ genişletilmelidir.
- Bilimsel ilerlemeler topluma açık ve hızlı bir şekilde açıklanmalıdır.
- Sentetik biyolojiden elde edilen yararın adil olarak nasıl paylaşılacağı konusunda gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.
- Uluslararası düzenlemeler ve araştırmalardaki farklılıklardan ortaya çıkabilecek araştırma ve sağlık turizmi sorunlarını çözümü için küresel bir işbirliği gerekmektedir. Bu bağlamda, bilim insanları ve uluslararası bilim topluluğunun iç standartları belirlemesi ve bunları sürdürmek için kendi prosedürlerini teşvik etmelidir.
- Değerlerin ve sonuçların sık sık analizi yapılmalıdır. Teknoloji değerlendirmesi yenilik ve buluş süreçlerine dahil edilmelidir.
- Sorumlu araştırma ve yenilik modeli, araştırma ve yeniliğin toplumun katılımıyla şekillendirme ve bilimsel merak ve mühendislik yaratıcılığı ile yeterli alan sağlamadaki dengeyi yönetmelidir.
- Sentetik biyoloji bilim politikaları açısından ekonomik ve siyasi beklentilerin olduğu bir alandır. Araştırmalarda politik ve ekonomik beklentilere dayalı gerilimler hesaba katılmalıdır. Bu bağlamda, sorumlu araştırma ve yenilik modeli, diğer politikalarla uyum olarak tüm araştırma süreçlerine açık ve bütüncül olarak yerleştirilmelidir.

ÖZET

Sentetik Biyoloji ve Etik: Bir Sistemik Derleme

Sentetik biyoloji en genel tanımı ile biyolojik araçların ve sistemlerin yararlı amaçlar için tasarlanması ve oluşturulmasıdır. Biyoteknoloji, moleküler biyoloji, biyofizik, biyokimya, biyoinformatik gibi biyolojiye ilişkin bilgiler ile mühendislik, matematik, bilgisayar bilimleri, elektronik mühendisliği gibi farklı disiplinlere ait bilgiler kullanılmaktadır. Bu bağlamda hem bir bilim dalı hem de bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Sentetik biyolojinin kapsamı, mevcut organizmaların yeni özellikler kazanması amacıyla yapılan modifikasyonlardan, canlı olmayan bileşenlerden canlı bir organizmanın yaratılmasına kadar değişmektedir. Sentetik biyoloji, enerji, kimya, tıp, çevre, tarım, ulusal güvenlik ve nanoteknoloji gibi önemli sektörlerde farklı uygulama alanlarına sahiptir. Sentetik biyolojinin gelişimi etik ve sosyal tartışmaları da gündeme getirmektedir.

Bu tez çalışması etğin sentetik biyoloji alanındaki yerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, sentetik biyolojinin gelişiminin görece daha hızlı olduğu 2000’li yıllardan 2020 yılına kadar olan dönemde sentetik biyolojiye ilişkin kuramsal etik tartışmalar, sistemik derleme yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan bulgulardan yola çıkılarak, alan ile ilgili temel etik sorunlar, gelecekte ortaya çıkması muhtemel sorunlar ve bu sorunlara çözüm önerilerine yer verilmiştir.

Araştırmanın veri toplama aşaması protokollere bağlı olarak yürütülen, planlama, tarama, seçme ve değerlendirmeyi içeren bir literatür taramasını içermektedir. Sonraki aşamada ise analiz ve sentezleme süreci gerçekleştirilmiş; sentetik biyoloji ve etik alanına ilişkin temel temalar ortaya konulmuştur. Taramalar Web of Science, Scopus, PhilPapers ve MEDLINE veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya 2020 yılının sonuna kadar hakemli dergilerde yayımlanmış kuramsal araştırma makaleleri ve derlemeler dahil edilmiştir. Yayın dili olarak İngilizce kullanılmıştır. İlk verilere göre dört veri tabanından toplam 1453 yayın elde edilmiştir. Dahil etme ve hariç tutma ölçütleri göz önünde bulundurularak 58 yayın çalışmaya dahil edilmiş ve analizleri yapılmıştır.

Sentetik biyolojiye ilişkin çok farklı konularda ve geniş yelpazede etik tartışmaların yürütüldüğünü söylemek mümkündür. Bu bağlamda etik tartışmalar bu tez çalışmasında sentetik biyoloji ürününün ahlaki konumu, sentetik biyoloji ve yaşamın ne’liği, sentetik biyoloji ve metaforlar, sentetik biyoloji ve bilgi ve sentetik biyolojiye ilişkin beklentiler, kaygılar ve sorun çözme yolları olmak üzere beş temada incelenmiştir.

Tez çalışması temelde betimleyici olsa da sistemik derlemelerde tekrarlayan biçimde ortaya çıkan önerileri de bulmak mümkündür. Bu öneriler normatif bir anlama da sahip olabilir. Bu bağlamda, tez kapsamında ortaya konulan öneriler, tezin araştırmasında ortaya çıkan ve etik açıdan önemli pratik öneriler ve bizim bunlara katkılarımızdan oluşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Biyoetik, Etik, Sentetik biyoloji, Sistemik derleme

SUMMARY

Synthetic Biology and Ethics: A Systematic Review

Synthetic biology is the design and creation of biological tools and systems for useful purposes. Biology-related information such as biotechnology, molecular biology, biophysics, biochemistry, and bioinformatics and information from different disciplines such as engineering, mathematics, computer science, and electronic engineering is used. In this context, it is accepted as a science and a technology. The scope of synthetic biology ranges from modifying existing organisms to acquiring new properties, from non-living components to creating a living organism. It has different application areas in essential sectors such as synthetic biology, energy, chemistry, medicine, environment, agriculture, national security and nanotechnology. The development of synthetic biology also raises ethical and social debates.

This thesis aims to determine the place of ethics in synthetic biology. In this context, the theoretical ethical debates regarding synthetic biology from the 2000s until 2020, when the development of synthetic biology was relatively rapid, were analyzed using the systematic review method. Based on the findings basic ethical problems related to the field, possible problems that may arise in the future and solutions to these problems are included.

The data collection phase of the research includes a literature review that includes planning, screening, selection and evaluation, carried out under the protocols. The analysis and synthesis process and the basic themes related to synthetic biology and ethics were revealed in the next stage. Searches were carried out in Web of Science, Scopus, PhilPapers and MEDLINE databases. Theoretical research articles and reviews published in peer-reviewed journals in English until the end of 2020 were included in the study. A total of 1453 publications were obtained from four databases. According to inclusion and exclusion criteria, 58 publications were included in the study and analyzed.

Ethical discussions are carried out on very different topics and in a wide range of synthetic biology. In this context, ethical debates are examined in five themes in this thesis: the moral status of the synthetic biology product, synthetic biology and the nature of life, synthetic biology and metaphors, synthetic biology and knowledge, and expectations, concerns and problem-solving ways regarding synthetic biology.

Although the thesis is descriptive, it is possible to find suggestions that appear recursively in systematic reviews. These recommendations may also have a normative meaning. In this context, the suggestions put forward within the scope of the thesis consist of ethically important practical suggestions that emerged in the research of the thesis and our contributions to them.

Keywords: Bioethics, Ethics, Synthetic biology, Systematic review

KAYNAKLAR

- ACEVEDO-ROCHA CG (2016). The Synthetic Nature of Biology. In: *Ambivalences of Creating Life: Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology*, Ed.: HAGEN K, ENGELHARD M, TOEPFER G., 1st ed., Springer, Cham. 9-53.
- AHTEENSUU M (2017). Synthetic biology, genome editing, and the risk of bioterrorism. *Science and Engineering Ethics* **23**(6): 1541-1561.
- ANDRIANANTOANDRO E, BASU S, KARIG DK, WEISS R. (2006). Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. *Molecular Systems Biology* **2**: 2006.0028.
- ASKLAND A (2011). Introduction: Why Law and Ethics Need to Keep Pace with Emerging Technologies. In: *The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight: The Pacing Problem*, Ed.: MARCHANT GE, ALLENBY BR, HERKERT JR., Springer Netherlands. xiii-xxvii.
- BAERTSCHI B (2015). The metaphysical lessons of synthetic biology and neuroscience. *Comptes Rendus - Biologies* **338**(8-9): 617-626.
- BALDWIN G, BAYER T, DICKINSON R, ELLIS T, FREEMONT PS, KITNEY RI, POLIZZI K, STAN GB (2016a). Minimal Cells and Synthetic Life. In: *Synthetic Biology: A Primer*, Revised ed., Imperial College Press, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. Chapter 4, 61-71.
- BALDWIN G, BAYER T, DICKINSON R, ELLIS T, FREEMONT PS, KITNEY RI, POLIZZI K, STAN GB (2016b). Applications of Designed Biological Systems. In: *Synthetic Biology: A Primer*, Revised ed., Imperial College Press, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. Chapter 7, 109-118.
- BALMER AS, BULPIN K, MOLYNEUX-HODGSON S (2016). *Synthetic Biology: A Sociology of Changing Practices*. 1st ed., Palgrave Macmillan, London.
- BCC (2022). BIO066G Synthetic Biology: Global Markets. BCC Research Report Overview, BCC Research LLC, Boston.
- BECHTEL W (2020). Living Machines: The Extent and Limits of the Machine Metaphor. In: *Philosophical Perspectives on the Engineering Approach in Biology: Living Machines?*, Ed.: HOLM S, SERBAN M., 1st ed., Routledge. Chapter 4.
- BEDAU MA, LARSON BT (2013). Lessons from Environmental Ethics about the Intrinsic Value of Synthetic Life. In: *Synthetic Biology and Morality: Artificial Life and the Bounds of Nature*, Ed.: KAEBNICK GE, MURRAY TH., 1st ed., MIT Press, Cambridge. 69-87.

- BEDAU, MA, PARKE EC, TANGEN U, HANTSCHE-TANGEN B (2009). Social and ethical checkpoints for bottom-up synthetic biology, or protocells. *Systems and Synthetic Biology* 3(1): 65-75.
- BEITZ AM, OAKES CG, GALLOWAY KE (2022). Synthetic gene circuits as tools for drug discovery. *Trends in Biotechnology* 40(2): 210-225.
- BENNER SA, SISMOUR AM (2005). Synthetic biology. *Nature Reviews Genetics* 6(7): 533-543.
- BENSAUDE VINCENT B (2013). Ethical perspectives on synthetic biology. *Biological Theory* 8(4): 368-375.
- BETTEN AW, RERIMASSIE V, BROERSE JEW, STEMERDING D, KUPPER F (2018). Constructing future scenarios as a tool to foster responsible research and innovation among future synthetic biologists. *Life Sciences, Society and Policy* 14(1): 21.
- BHUTKAR A (2005). Synthetic biology: navigating the challenges ahead. *Journal of BioLaw and Business* 8(2): 19-29.
- BILLER-ANDORNO N, TER MEULEN R, NEWSON A (2013). Synthetic biology for human health: issues for ethical discussion and policy-making. *Bioethics* 27(8): ii-iii.
- BOELL SK, CECEZ-KECMANOVIC D (2015). On being “systematic” in literature reviews in IS. *Journal of Information Technology* 30(2): 161-173.
- BOLDT J (2013a). Do we have a moral obligation to synthesize organisms to increase biodiversity? on kinship, awe, and the value of life’s diversity. *Bioethics* 27(8): 411-418.
- BOLDT J (2013b). Creating Life: Synthetic Biology and Ethics. In: *Synthetic Biology and Morality*, Ed.: KAEBNICK GE, MURRAY TH., 1st ed., MIT Press, Cambridge. 35-49.
- BOLDT J (2013c). Life as a technological product: philosophical and ethical aspects of synthetic biology. *Biological Theory* 8(4): 391-401.
- BOLDT J (2018). Machine metaphors and ethics in synthetic biology. *Life Sciences, Society and Policy* 14(1): 12.
- BONNET J, YIN P, ORTIZ ME, SUBSOONTORN P, ENDY D (2013). Amplifying genetic logic gates. *Science* 340(6132): 599-603.
- BRAUN M, RIED J, DABROCK P (2013). From homo faber to homo creator? A theological-ethical expedition into the anthropological depths of synthetic biology. *Worldviews* 17(1): 36-47.

- BROOKS SM, ALPER HS (2021). Applications, challenges, and needs for employing synthetic biology beyond the lab. *Nature Communications* **12**(1): 1-16.
- BRUYNSEELS K (2021). Responsible innovation in synthetic biology in response to COVID-19: the role of data positionality. *Ethics and Information Technology* **23**: 117-125.
- BYERS S (2006). Life as “self-motion”: Descartes and “the Aristotelians” on the soul as the life of the body. *Journal of the History of Biology* **59**(4): 723-755.
- CAMERON DE, BASHOR CJ, COLLINS JJ (2014). A brief history of synthetic biology. *Nature Reviews Microbiology* **12**(5): 381-390.
- CAMPOS LA (2009). That Was the Synthetic Biology that Was. In: *Synthetic Biology: The Technoscience and Its Societal Consequences*, Ed., SCHMIDT M, KELLE A, GANGULI-MITRA A, DE VRIEND H., Springer, Netherlands. Chapter 2, 5-21.
- CHAN S (2018). Research translation and emerging health technologies: synthetic biology and beyond. *Health Care Analysis* **26**(4): 310-325.
- CHARPA U (2012). Synthetic biology and the Golem of Prague: philosophical reflections on a suggestive metaphor. *Perspectives in Biology and Medicine* **55**(4): 554-570.
- CHECK E (2006). Synthetic biologists try to calm fears. *Nature* **441**: 388-389.
- CHEN Y, YIN Z, SHAO Z, XIE Q (2015). The defence of artificial life by synthetic biology from ethical and social aspects. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan* **25**(7): 519-524.
- CHENG AA, LU TK (2012). Synthetic biology: An emerging engineering discipline. *Annual Review of Biomedical Engineering* **14**: 155-178.
- CHOWNK M, THAKUR K, PUROHIT A, VASHISHT, A, KUMAR S (2019). Applications and Future Perspectives of Synthetic Biology Systems. In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Synthetic Biology, Cell Engineering and Bioprocessing Technologies*, Ed.: THOMAZ-SOCCOL V, PANDEY A, RESENDE RR., Elsevier, Amsterdam. Chapter 16, 393-412.
- CLEAVES HJ, LAZCANO A, LEDESMA MATEOS I, NEGRÓN-MENDOZA A, PERETÓ J, SILVA E (2014). Herrera’s “Plasmogonia” and Other Collected Works: Early Writings on the Experimental Study of the Origin of Life. Springer, New York.
- CLÉMENT R (2015). Stéphane Leduc and the vital exception in the Life Sciences. *ArXiv: Other Quantitative Biology*.

- COADY CAJ (2009). Playing God. In: *Human Enhancement*, Ed.: SAVULESCU J, BOSTROM N, 1st ed., Oxford University Press, Oxford. Chapter 7, 155-180.
- COYNE L (2020). The ethics and ontology of synthetic biology: a neo-Aristotelian perspective. *NanoEthics* **14**(1): 43-55.
- DABROCK P (2009). Playing God? synthetic biology as a theological and ethical challenge. *Systems and Synthetic Biology* **3**(1): 47-54.
- DANCHIN A, FANG G (2016). Unknown unknowns: essential genes in quest for function. *Microbial Biotechnology* **9**(5): 530-540.
- DAVIES JA (2018a). Biology: From Analysis to Synthesis. In: *Synthetic Biology: A Very Short Introduction*, online ed., Oxford University Press, Oxford. Chapter 1.
- DAVIES JA (2018b). Synthetic Biology and Healthcare. In: *Synthetic Biology: A Very Short Introduction*, online ed., Oxford University Press, Oxford. Chapter 4.
- DEPLAZES A, HUPPENBAUER M (2009). Synthetic organisms and living machines: positioning the products of synthetic biology at the borderline between living and non-living matter. *Systems and Synthetic Biology* **3**(1): 55-63.
- DESCARTES R (2010). Treatise on Man. In: *The Nature of Life: Classical and Contemporary Perspectives from Philosophy and Science*. Ed.: Bedau MA ve Cleland CE., Cambridge University Press, Cambridge. Chapter 2, 15-20.
- DOUGLAS T, POWELL R, SAVULESCU J (2013). Is the creation of artificial life morally significant? *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* **44**(4): 688-696.
- DOUGLAS T, SAVULESCU J (2010). Synthetic biology and the ethics of knowledge. *Journal of Medical Ethics* **36**(11): 687-693.
- DUSEK V (2006). Philosophy of Science and Technology. In: *Philosophy of Technology: An Introduction*, 1st ed., Wiley-Blackwell Publishing, Malden. Chapter 1, 6-25.
- DWORKIN R (2002). Sovereign Virtue: The Theory and Practice of Equality. 4th ed., Harvard University Press, Cambridge.
- DYMOND MK (2016). Synthetic Biology: Culture and Bioethical Considerations. In: *Synthetic Biology Handbook*, Ed.: NESBETH DN., 1st ed., CRC Press, Boca Raton. 3-34.
- ELOWITZ MB, LEIBLER S (2000). A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators. *Nature* **403**(6767): 335-338.

- ENDY D (2005). Foundations for engineering biology. *Nature* **438**(7067): 449-453.
- FALKNER D (2016). Metaphors of Life: Reflections on Metaphors in the Debate on Synthetic Biology. In: *Ambivalences of Creating Life: Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology*, Ed.: HAGEN K, ENGELHARD M, TOEPFER G., 1st ed., Springer, Cham. 251-265.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2007). FAO Biosecurity Toolkit. [<https://www.fao.org/3/a1140e/a1140e.pdf>].
- FRANSSEN M (2022). Philosophy of Technology and the Continental and Analytic Traditions. In: *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology*, Ed.: VALLOR S., Oxford University Press, Oxford. 55-77.
- FRANSSEN M, LOKHORST GJ, VAN DE POEL I (2022). Philosophy of Technology. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Ed.: Zalt EN, Nodelman U., Winter 2022 Ed. Erişim: [<https://plato.stanford.edu/archives/win2022/entries/technology/>]. Erişim tarihi: 30/11/2022.
- FRIEDLAND AE, LU TK, WANG X, SHI D, CHURCH G, COLLINS JJ (2009). Synthetic gene networks that count. *Science* **324**(5931): 1199-1202.
- FRITZ BR, TIMMERMAN LE, DARINGER NM, LEONARD JN, JEWETT MC (2010). Biology by design: from top to bottom and back. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* **2010**: 232016.
- FUNK M, STEIZINGER J, FALKNER D, EICHINGER T (2019). From buzz to burst—critical remarks on the term ‘life’ and its ethical implications in synthetic biology. *NanoEthics* **13**(3): 173-198.
- GALDZICKI M, RODRIGUEZ C, CHANDRAN D, SAURO HM, GENNARI JH (2011). Standard biological parts knowledgebase. *PLoS ONE* **6**(2): e17005.
- GARDNER TS, CANTOR CR, COLLINS JJ (2000). Construction of a genetic toggle switch in *Escherichia coli*. *Nature* **403**: 339-342.
- GIBSON DG, BENDERS GA, ANDREWS-PFANNKOCH C, DENISOVA EA, BADEN-TILLSON H, ZAVERI J, STOCKWELL TB, BROWNLEY A, THOMAS DW, ALGIRE MA, MERRYMAN C, YOUNG L, NOSKOV VN, GLASS JI, VENTER JC, HUTCHISON CA, SMITH HO (2008). Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a *Mycoplasma genitalium* genome. *Science* **319**(5867): 1215-1220.
- GIBSON DG, GLASS JI, LARTIGUE C, NOSKOV VN, CHUANG RY, ALGIRE MA, BENDERS GA, MONTAGUE MG, MA L, MOODIE MM, MERRYMAN C, VASHEE S, KRISHNAKUMAR R, ASSAD-GARCIA N, ANDREWS-PFANNKOCH C, DENISOVA EA, YOUNG L, QI ZQ, SEGALL-SHAPIRO TH, CALVEY CH, PARMAR PP, HUTCHISON CA, SMITH HO, VENTER JC (2010).

- Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science* **329**(5987): 52-56.
- GIESE B, PADE C, WIGGER H, VON GLEICH A (2015). Introduction. In: *Synthetic Biology: Character and Impact*, Ed.: GIESE B, PADE C, WIGGER H, VON GLEICH, A., 1st ed., Springer, Cham. xi-xv.
- GLICK S (2012). Synthetic biology: a Jewish view. *Perspectives in Biology and Medicine* **55**(4): 571-580.
- GÓMEZ-TATAY L, HERNÁNDEZ-ANDREU JM, AZNAR J (2016). A personalist ontological approach to synthetic biology. *Bioethics* **30**(6): 397-406.
- GÓMEZ-TATAY L, HERNÁNDEZ-ANDREU JM, AZNAR J (2019). The conception of synthetic entities from a personalist perspective. *Science and Engineering Ethics* **25**(1): 97-111.
- GOOLD HD, WRIGHT P, HAILSTONES D (2018). Emerging opportunities for synthetic biology in agriculture. *Genes (Basel)* **9**(7): 341.
- GREGOROWIUS D, DEPLAZES-ZEMP A (2016). Societal impact of synthetic biology: responsible research and innovation (RRI). *Essays in Biochemistry* **60**(4): 371-379.
- GREY W (2012). Playing God. In: *Encyclopedia of Applied Ethics Volume 3*, Ed.: CHADWICK R., 2nd ed., Academic Press, Amsterdam. 468-473.
- GROEGER L (2010). Metaphors We Moralize By. Practical Ethics University of Oxford. Erişim: [<http://blog.practicaethics.ox.ac.uk/2010/03/metaphors-we-moralize-by/>]. Erişim Tarihi: 08/11/2022.
- GRUNWALD A (2015). Synthetic Biology as Technoscience and the EEE Concept of Responsibility. In: *Synthetic Biology: Character and Impact*, Ed.: GIESE B, PADE C, WIGGER H, VON GLEICH, A., 1st ed., Springer, Cham. Chapter 13, 249-265.
- GUTMANN A (2011). The ethics of synthetic biology: guiding principles for emerging technologies. *Hastings Center Report* **41**(4): 17-22.
- HAGEN K (2016). Science policy and concomitant research in synthetic biology—some critical thoughts. *NanoEthics* **10**(2): 201-213.
- HÄYRY M (2017). Synthetic biology and ethics: past, present, and future. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* **26**(2): 186-205.
- HEAVEY P (2013). Synthetic biology ethics: a deontological assessment. *Bioethics* **27**(8): 442-452.

- HEAVEY P (2017). Consequentialism and the synthetic biology problem. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* **26**(2): 206-229.
- HEIDARI FEIDT R, IENCA M, ELGER BS, FOLCHER M (2019). Synthetic biology and the translational imperative. *Science and Engineering Ethics* **25**(1): 33-52.
- HEYD D (2012). Is there anything unique in the ethics of synthetic biology? *Perspectives in Biology and Medicine* **55**(4): 581-589.
- HOLM S (2012a). The scientific aspirations of synthetic biology and the need for analytic ethics. *Ethics, Policy and Environment* **15**(1): 25-28.
- HOLM S (2012b). Biological interests, normative functions, and synthetic biology. *Philosophy and Technology* **25**(4): 525-541.
- HOLM S (2013). Organism and artifact: proper functions in Paley organisms. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* **44**(4): 706-713.
- HOLM S (2017). The bioethicist who cried “synthetic biology”: an analysis of the function of bioterrorism predictions in bioethics. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* **26**(2): 230-238.
- HOLM S (2019). Deciding in the dark: the precautionary principle and the regulation of synthetic biology. *Ethics, Policy and Environment* **22**(1): 61-71.
- HOLM S (2020). The machine metaphor in science and science communication. In: *Philosophical Perspectives on the Engineering Approach in Biology: Living Machines?*, 1st ed., Routledge, New York. Chapter 9.
- HOLM S, ELLEN S. (2012). Precautionary Principle. In: *Encyclopedia of Applied Ethics: Volume 3*, Ed.: Chadwick R., 2nd ed., Academic Press. 569-575.
- HU X, ROUSSEAU R (2015). From a word to a world: the current situation in the interdisciplinary field of synthetic biology. *PeerJ* **3**: e728.
- HUTCHISON III CA, CHUANG RY, NOSKOV VN, ASSAD-GARCIA N, DEERINCK TJ, ELLISMAN MH, GILL J, KANNAN K, KARAS BJ, MA L, PELLETIER JF, QI Z, RICHTER RA, STRYCHALSKI EA, SUN L, SUZUKI Y, TSVETANOVA B, WISE KS, SMITH HO, GLASS JI, MERRYMAN C, GIBSON DG, VENTER JC (2016). Design and synthesis of a minimal bacterial genome. *Science* **351**(6280): aad6253.
- JACOB F, MONOD J (1961). Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. *Journal of Molecular Biology* **3**(3): 318-356.

- KAEBNICK GE, GUSMANO MK, Murray TH (2014). The ethics of synthetic biology: next steps and prior questions. *The Hastings Center Report* **44**(6): S4-S26.
- KAEBNICK GE, MURRAY TH (2013). Introduction. In: *Synthetic Biology and Morality: Artificial Life and The Bounds of Nature*, Ed.: KAEBNICK GE, T. H. Murray TH., 1st ed., The MIT Press, Cambridge. 1-11.
- KAEBNICK G, MURRAY TH, PARENS E (2009). Ethical Issues in Synthetic Biology. Erişim Adresi: [<https://www.thehastingscenter.org/who-we-are/our-research/selected-past-projects/ethical-issues-in-synthetic-biology-2/>]. Erişim Tarihi: 22/06/2022.
- KEIPER F, ATANASSOVA A (2020). Regulation of synthetic biology: developments under the Convention on Biological Diversity and its protocols. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **8**: 310.
- KELLE A (2012). Synthetic Biology with Standard Parts. In: *Innovation, Dual Use, and Security: Managing the Risks of Emerging Biological and Chemical Technologies*, Ed.: TUCKER JB, 1st ed., The MIT Press, Cambridge. 147-159.
- KELLE A (2013). Beyond patchwork precaution in the dual-use governance of synthetic biology. *Science and Engineering Ethics* **19**(3): 1121-1139.
- KELLER EF (2003). Synthetic Biology and the Origin of Living Form. In: *Making Sense of Life: Explaining Biological Development with Models, Metaphors, and Machines*, Harvard University Press, Cambridge. 15-49.
- KESHAHA R, MITRA R, GOPE ML, GOPE R (2018). Synthetic Biology: Overview and Applications. In: *Omics Technologies and Bio-engineering Volume 1 Towards Improving Quality of Life*, Ed.: BARH D, AZEVEDO V., 1st ed., Elsevier Inc., 63-93.
- KHALIL AS, COLLINS JJ (2010). Synthetic biology: applications come of age. *Nature Reviews Genetics* **11**(5): 367-379.
- KOTZÉ M (2020). Wicked solutions to wicked problems? a Christian ethical reflection on synthetic biology as nature conservation. *Philosophia Reformata* **85**(2): 181-197.
- LACHANCE JC, RODRIGUE S, PALSSON BO (2019). Synthetic biology: minimal cells, maximal knowledge. *ELife* **8**: e45379.
- LAIRD SA, WYNBERG RP (2016). Locating responsible research and innovation within access and benefit sharing spaces of the Convention on Biological Diversity: the challenge of emerging technologies. *NanoEthics* **10**(2): 189-200.
- LAKOFF G, JOHNSON M (2015). Metaforlar: Hayat, Anlam ve Dil. 2. Baskı, İthaki Yayınları, İstanbul.

- LAM CMC, GODINHO M, MARTINS DOS SANTOS VAP (2009). An Introduction to Synthetic Biology. In: *Synthetic Biology: The Technoscience and Its Societal Consequences*, Ed.: SCHMIDT M, KELLE A, AGOMONI GANGULI-MITRA A, de VRIEND H., 1st ed., Springer, The Netherlands. 23-48.
- LAPOINTE M, GLASS J (2022). Scientists develop most complete whole-cell computer simulation model of cell to date: J. Craig Venter Institute model organism-minimal cell platform provides robust tools for exploring first principles of life, design tools for genome. J. Craig Venter Institute. Erişim: [<https://www.jcvi.org/media-center/scientists-develop-most-complete-whole-cell-computer-simulation-model-cell-date>]. Erişim Tarihi: 04/07/2022.
- LINK HJ (2013). Playing God and the intrinsic value of life: moral problems for synthetic biology? *Science and Engineering Ethics* **19**(2): 435-448.
- LINKOV I, TRUMP BD, ANKLAM E, BERUBE D, BOISSEASU P, CUMMINGS C, FERSON S, FLORIN MV, GOLDSTEIN B, HRISTOZOV D, JENSEN KA, KATALAGARIANAKIS G, KUZMA J, LAMBERT JH, MALLOY T, MALSCH I, MARCOMINI A, MERAD M, PALMA-OLIVEIRA J, PERKINS E, RENN O, SEAGER T, STONE V, VALLERO D, VERMEIRE T (2018). Comparative, collaborative, and integrative risk governance for emerging technologies. *Environment Systems and Decisions* **38**(2): 170-176.
- LOEB J (1906). *The Dynamics of Living Matter*. Columbia University Press, New York.
- LOEB J (1912). *The Mechanistic Conception of Life*. University of Chicago Press, Chicago.
- LUSTIG A (2013). Appeals to Nature and the Natural in Debates about Synthetic Biology. In: *Synthetic Biology and Morality: Artificial Life and the Bounds of Nature*, Ed.: KAEBNICK GE, MURRAY TH, 1st ed., The MIT Press, Cambridge. 15-34.
- MACNAGHTEN P, OWEN R, JACKSON R (2016). Synthetic biology and the prospects for responsible innovation. *Essays in Biochemistry* **60**(4): 347-355.
- MAGNIN T (2015). Vulnerability at the heart of the ethical implications of new biotechnologies. *Human and Social Studies* **4**(3): 13-25.
- MARISCAL C (2021). Life. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Ed.: ZALTA EN., Winter 2021 Ed. Erişim: [<https://plato.stanford.edu/entries/life/>]. Erişim Tarihi: 06/11/2022.
- MARKETSANDMARKETS (2021). Synthetic Biology Market. Erişim: [<https://www.alliedmarketresearch.com/synthetic-biology-market>]. Erişim Tarihi: 02/08/2022.
- MATERN H, RIED J, BRAUN M, DABROCK P (2016). Living Machines. On the Genesis and Systematic Implications a Leading Metaphor of Synthetic Biology. In: *Synthetic*

Biology; Metaphors, Worldviews, Ethics, and Law, Ed.: BOLDT J., Springer VS, Wiesbaden. 47-60.

- MAYR E (2010). What is the Meaning of “Life”? In: *The Nature of Life: Classical and Contemporary Perspectives from Philosophy and Science*. Ed.: BEDAU MA, CLELAND CE., Cambridge University Press, Cambridge. Chapter 6, 88-101.
- MCCULLOUGH LB, COVERDALE JH, CHERVENAK FA (2007). Constructing a systematic review for argument-based clinical ethics literature: The example of concealed medications. *Journal of Medicine and Philosophy* **32**(1): 65-76.
- MCDANIEL R, WEISS R (2005). Advances in synthetic biology: on the path from prototypes to applications. *Current Opinion in Biotechnology* **16**(4): 476-483.
- MCDUGALL R (2014). Systematic reviews in bioethics: types, challenges, and value. *Journal of Medicine and Philosophy (United Kingdom)* **39**(1): 89-97.
- MCLEOD C, NERLICH B (2017). Synthetic biology, metaphors and responsibility. *Life Sciences, Society and Policy* **13**(1): 13.
- MELIN A (2021). Overstatements and understatements in the debate on synthetic biology, bioterrorism and ethics. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **9**: 703735.
- MERTZ M (2019). How to tackle the conundrum of quality appraisal in systematic reviews of normative literature/information? Analysing the problems of three possible strategies (translation of a German paper). *BMC Medical Ethics* **20**(1): 81.
- MILLER S, SELGELID MJ (2008a). Introduction. In: *Ethical and Philosophical Consideration of the Dual-Use Dilemma in the Biological Sciences*, 1st ed., Springer, Dordrecht. 9-15.
- MILLER S, SELGELID MJ (2008b). The Ethics of Dual-Use Research. In: *Ethical and Philosophical Consideration of the Dual-Use Dilemma in the Biological Sciences*, 1st ed., Springer, Dordrecht. Chapter 3, 31-38.
- MITCHAM C (1994). *Thinking Through Technology: The Path Between Engineering and Philosophy*. University Of Chicago Press, London.
- MIX LJ (2018). Greek Life: Psyche and Early Life-Concepts. In: *Life Concepts from Aristotle to Darwin: On Vegetable Souls*. Cham, Springer International Publishing. Chapter 2, 17-28.
- MORE M (2013). The Proactionary Principle: Optimizing Technological Outcomes. In: *The Transhumanist Reader: Classical and Contemporary Essays on the Science, Technology, and Philosophy of the Human Future*, Ed.: MORE M, VITA-MORE N., 1st ed., Wiley-Blackwell. 258-267.

- MORGAN DL (2018). Themes, Theories, and Models. *Qualitative Health Research* **28**(3): 339-345.
- MORI Y, YOSHIKAWA G, MORI Y, YOSHIKAWA G (2011). Current situation of synthetic biology in Japan. *Journal of Disaster Research* **6**(5): 476-481.
- NEGRÓN-MENDOZA A (1995). Alfonso L. Herrera: a Mexican pioneer in the study of chemical evolution. *Journal of Biological Physics* **20**: 11-15.
- NEWSON AJ (2011). Current ethical issues in synthetic biology: where should we go from here? *Accountability in Research* **18**(3): 181-193.
- NEWSON AJ (2015). Synthetic biology: ethics, exceptionalism and expectations. *Macquarie Law Journal* **15**: 45-58.
- NUFFIELD COUNCIL ON BIOETHICS (2012). Emerging biotechnologies: technology, choice and the public good. Nuffield Council on Bioethics, London.
- OLDHAM P, HALL S, BURTON G (2012). Synthetic biology: mapping the Scientific landscape. *PLoS ONE* **7**(4): e34368.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (2014). Emerging Policy Issues in Synthetic Biology. OECD Publishing, Paris.
- PADDON CJ, WESTFALL PJ, PITERA DJ, BENJAMIN K, FISHER K, MCPHEE D, LEAVELL MD, TAI A, MAIN A, ENG D, POLICHUK DR, TEOH KH, REED DW, TREYNOR T, LENIHAN J, FLECK M, BAJAD S, DANG G, DENGROVE D, DIOLA D, DORIN G, ELLENS KW, FICKES S, GALAZZO J, GAUCHER SP, GEISTLINGER T, HENRY R, HEPP M, HORNING T, IQBAL T, JIANG H, KIZER L, LIEU B, MELIS D, MOSS N, REGENTIN R, SECREST S, TSURUTA H, VAZQUEZ R, WESTBLADE LF, XU L, YU M, ZHANG Y, ZHAO L, LIEVENSE J, COVELLO PS, KEASLING JD, REILING K, RENNINGER NS, NEWMAN JD (2013). High-level semi-synthetic production of the potent antimalarial artemisinin. *Nature* **496**(7446): 528-532.
- PANG S, LEE SY, SEUL JY (2017). Policy challenges and ethical issues with the breakthrough technology: the case of synthetic biology. *Science, Technology and Society* **22**(3): 455-472.
- PAULY PJ (1987). Introduction. In: *Controlling Life: Jacques Loeb & the Engineering Ideal in Biology*. Oxford University Press, New York. 3-8.
- PERETÓ J (2016). Erasing borders: a brief chronicle of early synthetic biology. *Journal of Molecular Evolution* **83**(5-6): 176-183.
- PERETÓ J, CATALA J (2007). The renaissance of synthetic biology. *Biological Theory* **2**(2): 128-130.

- PETERS T (2007). Are We Playing God with Nanotechnology? In: *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*, Ed.: ALLHOFF F, LIN P, MOOR J ve WECKERT J, 1st ed., Wiley. Chapter 13, 173-184.
- PORCAR M, PERETÓ J (2014a). What Is Synthetic Biology? In: *Synthetic Biology: From iGEM to the Artificial Cell*, 1st ed., Springer, Dordrecht. Chapter 1, 1-7.
- PORCAR M, PERETÓ J (2014b). What Was Synthetic Biology? In: *Synthetic Biology: From iGEM to the Artificial Cell*, 1st ed., Springer, Dordrecht. Chapter 2, 9-22.
- PRESIDENTIAL COMMISSION FOR THE STUDY OF BIOETHICAL ISSUES (2010). *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies*. Washington DC.
- PRESTON CJ (2008). Synthetic biology: drawing a line in Darwin's sand. *Environmental Values* **17**(1): 23-39.
- PRESTON CJ (2013). Synthetic Bacteria, Natural Processes, and Intrinsic Value. In: *Synthetic Biology and Morality: Artificial Life and the Bounds of Nature*, Ed.: KAEBNICK GE ve MURRAY TH., 1st ed., MIT Press, Cambridge. 107-128.
- RACE MS, MOSES J, MCKAY C, VENKATESWARAN KJ (2012). Synthetic biology in space: considering the broad societal and ethical implications. *International Journal of Astrobiology* **11**(2): 133-139.
- RAGER-ZISMAN B (2012). Ethical and regulatory challenges posed by synthetic biology. *Perspectives in Biology and Medicine* **55**(4): 590-607.
- RAHO JA (2014). Rethinking nature through synthetic biology. *Teoria-Rivista Di Filosofia* **34**(1): 93-111.
- RAIMBAULT B, COINTET JP, JOLY PB (2016). Mapping the emergence of synthetic biology. *PLoS ONE* **11**(9): e0161522.
- RAPPERT B (2011). Pacing Science and Technology with Codes of Conduct: Rethinking What Works. In: *The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight: The Pacing Problem*, Ed.: Marchant GE, ALLENBY BR, HERKERT JR., Springer, Netherlands. Chapter 8, 109-126.
- RO DK, PARADISE EM, QUELLET M, FISHER KJ, NEWMAN KL, NDUNGU JM, HO, KA, EACHUS RA, HAM TS, KIRBY J, CHANG MCY, WITHERS ST, SHIBA Y, SARPONG R, KEASLING JD (2006). Production of the antimalarial drug precursor artemisinic acid in engineered yeast. *Nature* **440**(7086): 940-943.
- ROBERTS MAJ, CRANENBURGH RM, STEVENS MP, OYSTON PCF (2013). Synthetic biology: biology by design. *Microbiology (United Kingdom)* **159**(PART7): 1219-1220.

- ROHREGGER R, SGANZERLA A, SIMÃO-SILVA DP (2020). Synthetic biology and genetic manipulation: Risks, promises and responsibilities. *Ambiente e Sociedade* **23**: 1-17.
- RØNNOW-RASMUSSEN T (2015). Intrinsic and Extrinsic Value. In: *The Oxford Handbook of Value Theory*, Ed.: HIROSE I, OLSON J, 1st ed., Oxford University Press, Oxford. 29.
- ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (2009). Synthetic Biology: Scope, Applications and Implications. Royal Academy of Engineering, London. Erişim: [https://raeng.org.uk/media/fvwdlqmx/synthetic_biology.pdf].
- SANDLER R (2012). Intrinsic value, ecology, and conservation. *Nature Education Knowledge* **3**(10): 4.
- SANDLER R (2020). The ethics of genetic engineering and gene drives in conservation. *Conservation Biology* **34**(2): 378-385.
- SAUKSHMYA T, CHUGH A (2010). Commercializing synthetic biology: socio-ethical concerns and challenges under intellectual property regime. *Journal of Commercial Biotechnology* **16**(2): 135-158.
- SCENIHR (SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS), SCCS (SCIENTIFIC COMMITTEE ON CONSUMER SAFETY), & SCHER (SCIENTIFIC COMMITTEE ON HEALTH AND ENVIRONMENTAL RISKS) (2014). Synthetic Biology I: Definition, Opinion. Erişim: [https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_044.pdf].
- SCHMIDT JC (2015). Synthetic Biology as Late-Modern Technology. In: *Synthetic Biology: Character and Impact*, Ed.: GIESE B, PADE C, WIGGER H, VON GLEICH A., 1st ed., Springer, Cham. Chapter 1, 1-30.
- SCHMIDT JC (2016). Prospective technology assessment of synthetic biology: fundamental and propaedeutic reflections in order to enable an early assessment. *Science and Engineering Ethics* **22**(4): 1151-1170.
- SELGELID MJ (2013). Ethics and Dual-Use Research. In: *On the Dual Uses of Science and Ethics: Principles, Practices, and Prospects*, Ed.: RAPPERT B, SELGELID MJ., 1st ed., Australian National University, Canberra. 3-9.
- SELIN C (2008). The sociology of the future: tracing stories of technology and time. *Sociology Compass* **2**(6): 1878-1895.
- SHAPIRA P, KWON S, YOUTIE J (2017). Tracking the emergence of synthetic biology. *Scientometrics* **112**(3): 1439-1469.

- SIUTI P, YAZBEK J, LU TK (2013). Synthetic circuits integrating logic and memory in living cells. *Nature Biotechnology* **31**(5): 448-452.
- SMITH K (2013). Synthetic biology: a utilitarian perspective. *Bioethics* **27**(8): 453-463.
- SMOLKE CD (2009). Building outside of the box: iGEM and the BioBricks Foundation. *Nature Biotechnology* **27**(12): 1099-1102.
- SOFAER N, STRECH D (2012). The need for systematic reviews of reasons. *Bioethics* **26**(6): 315-328.
- STIRLING A, COBURN J (2018). From CBA to precautionary appraisal: practical responses to intractable problems. *Hastings Center Report* **48**: S78-S87.
- STRICKER J, COOKSON S, BENNETT MR, MATHER WH, TSIMRING LS, HASTY J (2008). A fast, robust and tunable synthetic gene oscillator. *Nature* **456**(7221): 516-519.
- SZYBALSKI W, SKALKA A (1978). Nobel Prizes and restriction enzymes. *Gene* **4**: 181-182.
- TABOR JJ, SALIS HM, SIMPSON ZB, CHEVALIER AA, LEVSKAYA A, MARCOTTE EM, VOIGT CA, ELLINGTON AD (2009). A synthetic genetic edge detection program. *Cell* **137**(7): 1272-1281.
- TAKALA T (2017). Finding hope in synthetic biology. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* **26**(2): 239-245.
- TAN X, LETENDRE JH, COLLINS JJ, WONG WW (2021). Synthetic biology in the clinic: engineering vaccines, diagnostics, and therapeutics. *Cell* **184**(4): 881-898.
- TEN HAVE H, DO CÉU PATRÃO NEVES M (2021a). Biosafety. In: *Dictionary of Global Bioethics*, 1st ed., Springer, Switzerland. 199.
- TEN HAVE H, DO CÉU PATRÃO NEVES M (2021b). Biosecurity. *Dictionary of Global Bioethics*, 1st ed., Springer, Switzerland. 201-202.
- THE EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2020). Synthetic biology and the environment. Erişim Adresi: [<https://www.eea.europa.eu/publications/synthetic-biology-and-the-environment>]. Erişim Tarihi: 24/08/2022.
- THE SYNTHETIC BIOLOGY PROJECT (2015). What is synthetic biology? Defining the concept. Erişim: [<https://www.synbioproject.tech/topics/synbio101/definition/>]. Erişim Tarihi: 20/02/2022.

- THOMAS J, HARDEN A (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology* **8**: 45.
- THOMPSON PB (2012). Synthetic biology needs a synthetic bioethics. *Ethics, Policy and Environment* **15**(1): 1-20.
- THORNBURG ZR, BIANCHI DM, BRIER TA, GILBERT BR, Earnest TM, Melo MCR, SAFRONOVA N, SÁENZ JP, COOK AT, WISE KS, HUTCHISON CA, SMITH HO, GLASS JI, LUTHEY-SCHULTEN Z (2022). Fundamental behaviors emerge from simulations of a living minimal cell. *Cell* **185**(2): 345-360.e28.
- TUCKER JB (2012). Introduction. In: *Innovation, Dual Use, and Security: Managing the Risks of Emerging Biological and Chemical Technologies*, Ed.: TUCKER JB, 1st ed., The MIT Press, Cambridge. 1.
- TUCKER JB, ZILINSKAS RA (2006). The promise and perils of synthetic biology on regulating designer microbes. *The New Atlantis* **12**: 25-45.
- TUMEY J (1995). Life in the laboratory: public responses to experimental biology. *Public Understanding of Science* **4**: 153-176.
- TUMPEY TM, BASLER CF, AGUILAR PV, ZENG H, SOLÓRZANO A, SWAYNE DE, COX N J, KATZ JM, TAUBENBERGER JK, PALESE P, GARCÍA-SASTRE A (2005). Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus. *Science* **310**(5745): 77-80.
- UNESCO (2022). World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST). Erişim: [<https://www.unesco.org/en/ethics-science-technology/comest>]. Erişim tarihi: 01/12/2022.
- VALLERO DA, GUNSCH CK (2020). Applications and implications of emerging biotechnologies in environmental engineering. *Journal of Environmental Engineering* **146**(6): 03120005.
- VAN DE POEL I, ROBAEY Z (2017). Safe-by-design: from safety to responsibility. *NanoEthics* **11**(3): 297-306.
- VAN DEN BELT H (2009). Playing God in Frankenstein's footsteps: synthetic biology and the meaning of life. *NanoEthics* **3**(3): 257-268.
- VICKERS C, PALMER M, MOLLOY J, PRICHEP E (2021). Realizing the potential of synthetic biology to help people and the planet. Erişim: [<https://www.weforum.org/agenda/2021/04/synthetic-biology-potential-people-and-the-planet-gtgs21/>]. Erişim Tarihi: 12/10/2022.
- WANG F, ZHANG W (2019). Synthetic biology: recent progress, biosafety and biosecurity concerns, and possible solutions. *Journal of Biosafety and Biosecurity* **1**(1): 22-30.

- WAREHAM C, NARDINI C (2015). Policy on synthetic biology: deliberation, probability, and the precautionary paradox. *Bioethics* **29**(2): 118-125.
- WEBER W, FUSSENEGGER M (2012). Emerging biomedical applications of synthetic biology. *Nature Reviews Genetics* **13**(1): 21-35.
- WECKERT J (2016). Playing God: What is the Problem? In: *The Ethics of Human Enhancement*, Ed.: CLARKE S, SAVULESCU J, COADY CAJ, GIUBILINI A, SANYAL S., 1st ed., Oxford University Press, Oxford. 87-99.
- WINDLE PE (2010). The systematic review process: an overview. *Journal of Perianesthesia Nursing* **25**(1): 40-42.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2020). Laboratory Biosafety Manual, 4th Ed.
- ZHANG LY, CHANG SH, WANG J (2011). Synthetic biology: from the first synthetic cell to see its current situation and future development. *Chinese Science Bulletin* **56**(3): 229-237.
- ZIMMERMAN MJ, BRADLEY B (2019). Intrinsic vs. Extrinsic Value. Stanford Encyclopaedia of Philosophy, Ed.: ZALTA EN., Spring 2019 Ed. Erişim: [<https://plato.stanford.edu/entries/value-intrinsic-extrinsic/>], Erişim Tarihi: 02/11/2022.
- ZWART H, LANDEWEERD L, VAN ROOIJ A (2014). Adapt or perish? Assessing the recent shift in the European research funding arena from ‘ELSA’ to ‘RRI.’ *Life Sciences, Society and Policy* **10**: 11.

EKLER

Ek-1. Veri Toplama Formu

Veri Toplama Formu

Araştırma Başlığı : Sentetik Biyoloji ve Etik: Bir Sistematik Derleme			
Yazar(lar). Başlık. Yayınlandığı Yer. Yayın Yıl;Cilt(Sayı):Sayfa. doi.		Yazar Adı Soyadı. Makale başlığı. Dergi Adı. Yıl;Cilt(Sayı):Sayfa-Sayfa. doi.	
Özet			
Çalışmanın Yayın Türü*			
Yayın Türü			
Yayın türü açısından		Dahil ☐	Dışla ☐
Çalışmanın Konusu			
Çalışma sentetik biyoloji ile ilgili mi?		Evet ☐	Hayır ☐
Çalışmanın konusu açısından		Dahil ☐	Dışla ☐
Sentetik Biyoloji Tanımı			
Sentetik biyoloji tanımı yapılmış mı?		Evet ☐	Hayır ☐
Sentetik biyoloji tanımı açısından		Dahil ☐	Dışla ☐
Etik Tartışma			
Çalışma etik tartışması var mı?		Evet ☐	Hayır ☐
Etik tartışma açısından		Dahil ☐	Dışla ☐
Etik sorunlara işaret ediyor mu?		Evet ☐	Hayır ☐
		Dahil† ☐	Dışla ☐
Dahil ☐		Dışla ☐	

* Dahil edilecek yayın türleri makale ve derleme

† Detaylı analizi yapılmayan; ancak nicel grup için liste şeklinde verilen çalışmalar

Ek-1. Veri Toplama Formu (devam)

Veri Toplama Formu

Çalışmanın Türü	
Sentetik Biyoloji Tanımı	
Öne Çıkan Etik Tartışmalar	
Öne Çıkan Etik Kavramlar	
Makalenin Sonucu ve/veya Önerisi	

Ek-2. Analizi Yapılan Tam Metinlerin Listesi

1. Bhutkar A. Synthetic biology: navigating the challenges ahead. *Journal of BioLaw and Business*. 2005;8(2):19-29.
2. Preston CJ. Synthetic biology: drawing a line in Darwin's sand. *Environmental Values*. 2008;17(1):23-39.
3. Bedau MA, Parke EC, Tangen U, Hantsche-Tangen B. Social and ethical checkpoints for bottom-up synthetic biology, or protocells. *Systems and Synthetic Biology*. 2009;3(1):65-75.
4. Dabrock P. Playing God? Synthetic biology as a theological and ethical challenge. *Systems and Synthetic Biology*. 2009;3(1):47-54.
5. Deplazes A, Huppenbauer M. Synthetic organisms and living machines: positioning the products of synthetic biology at the borderline between living and non-living matter. *Systems and Synthetic Biology*. 2009;3(1):55-63.
6. Douglas T, Savulescu J. Synthetic biology and the ethics of knowledge. *Journal of Medical Ethics*. 2010;36(11):687-693.
7. Saukshmya T, Chugh A. Commercializing synthetic biology: socio-ethical concerns and challenges under intellectual property regime. *Journal of Commercial Biotechnology*. 2010;16(2):135-158.
8. Mori Y, Yoshizawa G, Mori Y, Yoshizawa G. Current situation of synthetic biology in Japan. *Journal of Disaster Research*. 2011;6(5):476-481.
9. Newson AJ. Current ethical issues in synthetic biology: where should we go from here? *Accountability in Research-Policies and Quality Assurance*. 2011;18(3):181-193.
10. Charpa U. Synthetic biology and the Golem of Prague: philosophical reflections on a suggestive metaphor. *Perspectives in Biology and Medicine*. 2012;55(4):554-568.
11. Glick. Synthetic biology: A Jewish view. *Perspectives in Biology and Medicine*. 2012;55(4):571-580.
12. Heyd D. Is there anything unique in the ethics of synthetic biology? *Perspectives in Biology and Medicine*. 2012;55(4):581-586.
13. Holm S. Biological interests, normative functions, and synthetic biology. *Philosophy and Technology*. 2012;25(4):525-541.
14. Race MS, Moses J, McKay C, Venkateswaran KJ. Synthetic biology in space: considering the broad societal and ethical implications. *International Journal of Astrobiology*. 2012;11(2):133-139.
15. Rager-Zisman B. Ethical and regulatory challenges posed by synthetic Biology. *Perspectives in Biology and Medicine*. 2012;55(4):590-606.
16. Thompson PB. Synthetic biology needs a synthetic bioethics. *Ethics, Policy and Environment*. 2012;15(1):1-20.
17. Bensaude Vincent B. Ethical perspectives on synthetic biology. *Biological Theory*. 2013;8(4):368-375.

18. Boldt J. Do we have a moral obligation to synthesize organisms to increase biodiversity? on kinship, awe, and the value of life's diversity. *Bioethics*. 2013;27(8):411-418.
19. Boldt J. Life as a technological product: philosophical and ethical aspects of synthetic biology. *Biological Theory*. 2013;8(4):391-401.
20. Braun M, Ried J, Dabrock P. From homo faber to homo creator? a theological-ethical expedition into the anthropological depths of synthetic biology. *Worldviews: Environment, Culture, Religion*. 2013;17(1):36-47.
21. Douglas T, Powell R, Savulescu J. Is the creation of artificial life morally significant? *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 2013;44(4):688-696.
22. Heavy P. Synthetic biology ethics: a deontological assessment. *Bioethics*. 2013;27(8):442-452.
23. Holm S. Organism and Artifact: Proper Functions in Paley Organisms. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 2013;44(4):706-713.
24. Kelle A. Beyond patchwork precaution in the dual-use governance of synthetic biology. *Science and Engineering Ethics*. 2013;19(3):1121-1139.
25. Link HJ. Playing God and the intrinsic value of life: Moral problems for synthetic biology? *Science and Engineering Ethics*. 2013;19(2):435-448.
26. Smith K. Synthetic biology: A utilitarian perspective. *Bioethics*. 2013;27(8):453-463.
27. Kaebnick GE, Gusmano MK, Murray TH. The ethics of synthetic biology: Next steps and prior questions. *Hastings Center Report*. 2014;44(6):S4-26.
28. Raho JA. Rethinking nature through synthetic biology. *Teoria-Rivista di Filosofia*. 2014;34(1):93-111.
29. Baertschi B. The metaphysical lessons of synthetic biology and neuroscience. *Comptes Rendus Biologies*. 2015;338(8-9):617-626.
30. Chen Y, Yin Z, Shao Z, Xie Q. The defence of artificial life by synthetic biology from ethical and social aspects. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 2015;25(7):519-524.
31. Magnin T. Vulnerability at the heart of the ethical implications of new biotechnologies. *Human and Social Studies*. 2015;4(3):13-25.
32. Newson AJ. Synthetic biology: Ethics, exceptionalism and expectations. *Macquarie Law Journal*. 2015;15:45-58.
33. Wareham C, Nardini C. Policy on synthetic biology: Deliberation, probability, and the precautionary paradox. *Bioethics*. 2015;29(2):118-125.
34. Gómez-Tatay L, Hernández-Andreu JM, Aznar J. A personalist ontological approach to synthetic biology. *Bioethics*. 2016;30(6):397-406.
35. Gregorowius D, Deplazes-Zemp A. Societal impact of synthetic biology: responsible research and innovation (RRI). *Essays in Biochemistry*. 2016;60(4):371-379.
36. Hagen K. Science policy and concomitant research in synthetic biology-some critical thoughts. *Nanoethics*. 2016;10(2):201-213.

37. Laird SA, Wynberg RP. Locating responsible research and innovation within access and benefit sharing spaces of the Convention on Biological Diversity: the challenge of emerging technologies. *Nanoethics*. 2016;10:189-200.
38. Macnaghten P, Owen R, Jackson R. Synthetic biology and the prospects for responsible innovation. *Essays in Biochemistry*. 2016;60(4):347-355.
39. Schmidt JC. Prospective technology assessment of synthetic biology: Fundamental and propaedeutic reflections in order to enable an early assessment. *Science and Engineering Ethics*. 2016;22(4):1151-1170.
40. Ahteensuu M. Synthetic biology, genome editing, and the risk of bioterrorism. *Science and Engineering Ethics*. 2017; 23(6):1541-1561.
41. Häyry M. Synthetic biology and ethics past, present, and future. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 2017;26(2):186-205.
42. Heavey P. Consequentialism and the synthetic biology problem. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 2017;26(2):206-229.
43. Holm S. The bioethicist who cried “synthetic biology”: An analysis of the function of bioterrorism predictions in bioethics. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 2017;26(2):230-238.
44. Pang S, Lee SY, Seul JY. Policy challenges and ethical issues with the breakthrough technology: the case of synthetic biology. *Science Technology and Society*. 2017;22(3):455-472.
45. Takala T. Finding hope in synthetic biology. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 2017;26(2):239-245.
46. van de Poel I, Robaey Z. Safe-by-Design: from safety to responsibility. *Nanoethics*. 2017;11:297-306.
47. Boldt J. Machine metaphors and ethics in synthetic biology. *Life Sciences Society and Policy*. 2018;14:12.
48. Chan S. Research translation and emerging health technologies: synthetic biology and beyond. *Health Care Analysis*. 2018;26(4):310-335.
49. Stirling A, Coburn J. From CBA to precautionary appraisal: practical responses to intractable problems. *Hastings Center Report*. 2018;48 (Supp 1):S78-S87.
50. Funk M, Steizinger J, Falkner D, Eichinger T. From buzz to burst-critical remarks on the term ‘life’ and its ethical implications in synthetic biology. *Nanoethics*. 2019;13(3):173-198.
51. Gómez-Tatay L, Hernández-Andreu JM, Aznar J. The conception of synthetic entities from a personalist perspective. 2019;25(1):97-111.
52. Heidari Feidt R, Ienca M, Elger BS, Folcher M. Synthetic biology and the translational imperative. *Science and Engineering Ethics*. 2019;25(1):33-52.
53. Holm S. Deciding in the dark: The precautionary principle and the regulation of synthetic biology. *Ethics Policy & Environment*. 2019;22(1):61-71.
54. Coyne L. The ethics and ontology of synthetic biology: a neo-Aristotelian perspective. *Nanoethics*. 2020;14(1):43-55.

55. Kotzé M. Wicked solutions to wicked problems? a Christian ethical reflection on synthetic biology as nature conservation. *Philosophia Reformata*. 2020;85(2):181-197.
56. Rohregger R, Sganzerla A, Simão-Silva DP. Synthetic biology and genetic manipulation: risks, promises and responsibilities. *Ambiente e Sociedade*. 2020;23:e01963.
57. Sandler R. The ethics of genetic engineering and gene drives in conservation. *Conservation Biology*. 2020;34(2):378-385.
58. Vallero DA, Gunsch CK. Applications and implications of emerging biotechnologies in environmental engineering. *Journal of Environmental Engineering*. 2020;146(6):03120005.

