

BİLİM KOMİTESİ

Çalışma Rehberi

1. Plastik Kirliliği ve Biyolojik Adaptasyon Paradoksu
2. Laboratuvar Ortamında Tasarlanan Yaşam: Gıda ve Canlı Üretimi
3. İklim Mühendisliği. Gezeğini Kurtarmak İçin Atılabilecek Adımlar
4. Yapay Zeka ve Bilinç

BELX TFL



ÖN SÖZ

Değerli Katılımcılar,

İnsanlık tarihi boyunca bilim, karşılaştığımız küresel krizlerin, etik ikilemlerin ve toplumsal dönüşümlerin en güçlü rehberi olmuştur. Bugün ise teknolojik ve endüstriyel gelişmelerin ivme kazandığı, ancak bu ivmenin beraberinde ekolojik ve felsefi krizler getirdiği kritik bir eşikte bulunmaktayız. BEL X TFL Gençlik Çalıştayı 2026 bünyesinde faaliyet gösteren Bilim Komitesi olarak amacımız, sadece teorik bilgileri tartışmak değil; bu küresel krizlere sürdürülebilir, akılcı ve etik çözüm yaklaşımları geliştirmektir.

Bu çalışma rehberi, çalıştay süresince gerçekleştireceğimiz oturumlarda bizlere yön göstermesi, tartışmalarımızın bilimsel ve metodolojik bir zeminde yürütülmesi amacıyla hazırlanmıştır. Rehber kapsamında, mikroplastiklerin ekosistem ve insan biyolojisi üzerindeki paradoksal etkilerinden laboratuvarında tasarlanan yeni yaşam formlarına; gezegen ölçeğinde doğaya müdahale etmeyi öngören iklim mühendisliğinden yapay zekanın bilinç ve felsefe boyutuna kadar geniş bir yelpazeyi masaya yatıracağız.

Sizlerin özgür düşünceleri, analitik yaklaşımları ve üreteceğiniz yenilikçi vizyonlar, bu çalıştayın başarısını belirleyecektir. Geleceği şekillendirecek bilimsel koordinatları birlikte çizmek adına gerçekleştireceğimiz tüm oturumların verimli ve ilham verici geçmesini diler, değerli katkılarınız için şimdiden teşekkür ederim.

Eren Ermetin Bilim Komitesi Eş Başkanı

Bursa Erkek Lisesi

Saygıdeğer katılımcılar,

Bilim ve teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, disiplinler arası iş birliği ve yenilikçi düşünce her zamankinden daha büyük bir önem taşımaktadır. BELXTF'L Çalıştayını, bu doğrultuda genç zihinleri bir araya getirerek bilgi paylaşımını teşvik eden, eleştirel düşünmeyi destekleyen ve geleceğe yön verecek fikirlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlayan değerli bir platformdur.

Bilim Komitesi Moderatörü olarak, bu çalıştayın yalnızca teorik bilgilerin aktarıldığı bir ortam olmanın ötesine geçerek; katılımcıların aktif olarak tartıştığı, sorguladığı ve birlikte ürettiği bir deneyim sunmasını hedefledik. Bilimin ışığında ilerleyen bu süreçte, her bir katılımcının katkısı çalıştayın başarısını daha da anlamlı kılmaktadır.

Bu organizasyonun gerçekleşmesinde emeği geçen tüm ekip arkadaşlarıma, değerli katılımcılara ve destek veren herkese teşekkür ederim. BELXTF'L Çalıştayını'nın, katılımcıların akademik ve kişisel gelişimlerine katkı sağlamasını ve gelecekteki çalışmalarına ilham vermesini temenni ediyorum.

Son olarak bu çalışma rehberini hazırlarken büyük katkılarından dolayı Eren ERMENTİN ve Selin Ece ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkür ve minnettarlığımı sunmak istiyorum.

Saygılarımla,

Efe Tekin

Bilim Komitesi Eş Başkanı

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	2
1. BÖLÜM: PLASTİK KİRLİLİĞİ VE BİYOLOJİK ADAPTASYON PARADOKSU	6
1.1. Giriş ve Küresel Sentetik Çevre Sorunsalı	6
1.2. Mikro ve Nanoplastiklerin Hücresel ve Toksikolojik Etkileri	6
1.3. Biyolojik Uyum ve Antropojenik Seçilim Baskısı	7
1.4. Döngüsel Ekonomi, Selüloz Asetat Geri Kazanımı ve Ar-Ge Politikaları	7
1.5. Sürdürülebilir İkameler ve Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR)	8
1.6. Mikroplastik Karşıtı Gelişmiş Filtrasyon ve Nanoteknolojik Çözümler	8
1.7. Biyo-Parçalanma ve Plastik Yiyen Mikroorganizmalar (Biyoremediyasyon)	9
1.8. Kaynakça	11
1.9. Çalıştay Tartışma Soruları	11
2. BÖLÜM: LABORATUVAR ORTAMINDA TASARLANAN YAŞAM: GIDA VE CANLI ÜRETİMİ .12	
2.1. Giriş ve Biyomühendislik Devrimi	12
2.2. Hücre Kültürü Teknolojisi, İskele Yapıları ve Hücresel Tarım	13
2.3. Biyoteknolojik Canlı Ticareti ve Canlıların Ontolojik Statüsü	13
2.4. Yapay Seçilim Baskısı, Doğallık ve Ekolojik Riskler	14
2.5. Küresel Biyo-Ekonomi Jeopolitiği, Patent Hakları ve Sosyo-Kültürel Bariyerler.....	14
2.6. Hücresel Gıda Güvenliği ve Uluslararası Mevzuat Boşluğu	15
2.7. Ksenotransplantasyon ve Laboratuvar Üretimi Organ Teknolojileri	15
2.8. Kaynakça	17
2.9. Çalıştay Tartışma Soruları	18
3. BÖLÜM: İKLİM MÜHENDİSLİĞİ: GEZEĞENİ KURTARMAK İÇİN DOĞAYA MÜDAHALE EDİLMELİ Mİ?	19
3.1. Giriş, Antroposen Çağı ve Jeomühendislik İhtiyacı	19
3.2. Güneş Radyasyonu Yönetimi (SRM) ve Hidrolojik Döngüye Etkileri	19

3.3. Karbondioksit Azaltımı (CDR), CCS Altyapıları ve Okyanus Asitlenmesi	20
3.4. Çevre Etiği ve "Ahlaki Tehlike" (Moral Hazard) Paradoksu	20
3.5. Uluslararası Hukuk Boşluğu, Jeopolitik Asimetri ve Sonlandırma Şoku	21
3.6. Bölgesel Carbon Borsaları ve Jeomühendislik Finansmanı	22
3.7. Arktik Buz Albedosunun Korunması ve Bölgesel Ekosistem Manipülasyonları	23
3.8. Kaynakça	25
3.9. Çalıştay Tartışma Soruları	26
4. BÖLÜM: YAPAY ZEKA VE BİLİNÇ	27
4.1. Giriş, Hesaplamalı Zihin Teorisi ve Bilişsel Modelleme	27
4.2. Yapay Genel Zekaya (AGI) Doğru Evrimsel Basamaklar	27
4.3. Bilincin Felsefi Açmazları: "Zor Problem" ve Çin Odası Argümanı	28
4.4. Entegre Bilgi Teorisi, Duyarlılık ve İşlevselcilik	28
4.5. Teknolojik Tekillik (Singularity), Hizalama Problemi ve Yapay Zeka Hakları	29
4.6. Yapay Sinir Ağlarında Kara Kutu (Black Box) ve Açıklanabilirlik Açmazı	30
4.7. Kuantum Hesaplama ve Yapay Zekada Yapısal Boyut Değişimi	31
4.8. Kaynakça	32
4.9. Çalıştay Tartışma Soruları	33

I. BÖLÜM

PLASTİK KİRLİLİĞİ VE BİYOLOJİK ADAPTASYON PARADOKSU

1.1. Giriş ve Küresel Sentetik Çevre Sorunsalı

Modern endüstriyel üretimin en yaygın çıktılarında biri olan plastikler, dayanıklılıkları, esneklikleri ve son derece düşük maliyetleri nedeniyle küresel ekonominin yapısal bir unsuru haline gelmiştir. Ancak bu materyallerin doğada biyolojik olarak parçalanamaması, makro ölçekteki kirliliğin ötesine geçerek mikro ve nanoplastik (MNP) boyutunda yeni bir ekolojik kriz doğurmuştur. Yapılan güncel biyotıbbi ve çevre bilimsel araştırmalar, mikro ve nanoplastiklerin artık besin zincirinin ayrılmaz bir parçası haline geldiğini açıkça ortaya koymaktadır. Akarsulardan okyanuslara, tarım topraklarından soluduğumuz havaya kadar her alana nüfuz eden bu partiküller, biyolojik sistemler için sürekli bir maruziyet alanı yaratmaktadır.

İktisadi büyüme modellerinin ve doğrusal tüketim çılgınlığının bir ürünü olan bu sentetik kuşatma, gezegenin jeolojik katmanlarında "Plastisfer" adı verilen yepyeni bir yapay ekosistemin tanımlanmasına yol açmıştır. Küresel üretim hatlarının durmaksızın petrokimya türevlerine yönelmesi, ambalaj sanayisinden tekstile kadar her sektörde polimer bazlı bileşikleri baskın kılmıştır. Bir bireyin ömrü boyunca maruz kaldığı beslenme ve solunum döngüleri neticesinde, vücuduna yaklaşık 20 kg plastik alma riskiyle karşı karşıya olduğu hesaplanmaktadır. Bu durum, plastik kirliliğinin sadece görsel ya da çevresel bir problem olmadığını, doğrudan insanoğlunun biyolojik bütünlüğünü ve homojen evrimsel çizgisini tehdit eden sistemik bir kriz olduğunu göstermektedir.

1.2. Mikro ve Nanoplastiklerin Hücre Sar ve Toksikolojik Etkileri

Plastik partiküllerinin boyutlarının nano seviyeye indirgenmesi, onların biyolojik bariyerleri aşma kabiliyetini artırmaktadır. Hücre zarlarından doğrudan geçerek dokularda birikebilen bu partiküller; hormonal bozukluklara, kronik inflamasyona ve hücre hasara yol açmaktadır. Vücuda giren yabancı bir madde olarak algılanan nanoplastikler, bağışıklık sistemini sürekli uyararak doku düzeyinde kronik yangısal (inflamatuvar) süreçleri tetikler. Makrofajlar ve t-hücreleri bu yapay polimerleri fagosite etmeye çalışırken fonksiyonel deformasyona uğramakta, bu da immün yetmezliklerin ya da otoimmün reaksiyonların önünü açmaktadır.

Daha da kritik olanı, plastiklerin üretimi esnasında kullanılan ftalatlar ve bisphenol-A (BPA) gibi plastikleştirici kimyasal katkı maddelerinin, endokrin bozucu etki göstermesidir. Bu kimyasallar, hormonal sistemlerin reseptörlerine bağlanarak hormonal mekanizmaları taklit etmekte veya bloke etmekte; bu da üreme sağlığından metabolik hastalıklara kadar geniş bir

spektrumda hasara yol açmaktadır. Hücresel düzeyde ise mitokondriyal stresi artırarak sitotoksik etkiler doğurmakta ve serbest radikal üretimini (ROS) tetikleyerek genotoksik hasar potansiyeli taşımaktadır. DNA sarmalına doğrudan müdahale eden bu nanometrik sızmalar, hücresel mutasyon riskini katlayarak gelecek nesillerin genetik mirasını da belirsizliğe sürüklemektedir.

1.3. Biyolojik Uyum ve Antropojenik Seçilim Baskısı

Ortaya çıkan bu yeni sentetik çevre, insanlığın evrimsel ve biyolojik geleceği açısından büyük bir paradoks yaratmaktadır. Mevcut tablo, insanlığın ya üretim modelini tamamen değiştirmesini ya da bu yeni sentetik çevreye biyolojik olarak uyum sağlamasını zorunlu kılmaktadır. Evrimsel biyoloji açısından adaptasyon, nesiller boyu süren genetik mutasyonlar ve doğal seçilim mekanizmaları ile gerçekleşir. Çevre koşulları değiştiğinde, o koşullara en dirençli genotipler hayatta kalır ve üreme başarısı göstererek popülasyonun gen havuzunu dönüştürür.

Ancak antropojenik (insan kaynaklı) plastik kirliliğinin hızı, biyolojik evrimin hızından katbekat yüksektir. Bu durum, insan vücudunun bu yabancı polimerik yapılara hasar görmeden uyum sağlayıp sağlamayacağı sorusunu doğurur. Karbon bazlı organik yaşamın, silikon ve petrol bazlı sentetik bir matrise uyum sağlama çabası, insan biyolojisinde daha önce görülmemiş moleküler kırılmalara yol açabilir. Eğer biyolojik adaptasyon bu hızla yetişemezse, endüstriyel çevrenin yarattığı bu baskı kaçınılmaz bir küresel sağlık krizine, erken yaşlanan dokulara ve kitlesel kronik hastalıklara işaret etmektedir.

1.4. Döngüsel Ekonomi, Selüloz Asetat Geri Kazanımı ve Ar-Ge Politikaları

Küresel ekonominin plastik materyallere olan yapısal, lojistik ve finansal bağımlılığı göz önüne alındığında, üretimi tamamen ve aniden durdurmanın makroekonomik realitelerle çeliştiği savunulmaktadır. Bu noktada, doğrusal ekonomi modelinden ("al-kullan-at") döngüsel ekonomi modeline geçiş tek rasyonel çıkış yolu olarak belirtmektedir. Mevcut plastik atıkların kimyasal süreçlerle yeniden ekonomiye kazandırılması, hem hammadde talebini azaltmakta hem de çevreye salınan atık hacmini düşürmektedir. Yatırım teşvikleri ve yeşil finansman mekanizmaları, bu dönüşümün endüstriyel motoru olmaktadır.

Yenilikçi biyoteknolojik çalışmalar, polimer yapılarının monomerlerine kadar indirildiği ileri kimyasal geri dönüşüm yöntemlerine odaklanmaktadır. Örneğin, yaygın bir küresel endüstriyel atık yükü oluşturan selüloz asetat bazlı filtrelerin, kimyasal ve biyolojik işlemlerle saflaştırılarak katma değerli tarımsal girdilere veya dayanıklı endüstriyel kompozitlere dönüştürülmesi bu dönüşüme somut bir örnektir. Kimyasal geri dönüşüm (depolimerizasyon), mekanik geri dönüşümün aksine, materyalin kalitesini ve mukavemetini düşürmeden onu temel yapı taşlarına ayırarak teorik olarak sonsuz bir döngü sağlamayı vadetmektedir. Ar-Ge laboratuvarlarında geliştirilen bu yöntemlerin endüstriyel ölçeğe taşınması, hükümetlerin vergi politikaları ve karbon sınır düzenlemeleriyle doğrudan ilişkilidir.

1.5. Sürdürülebilir İkameler ve Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR)

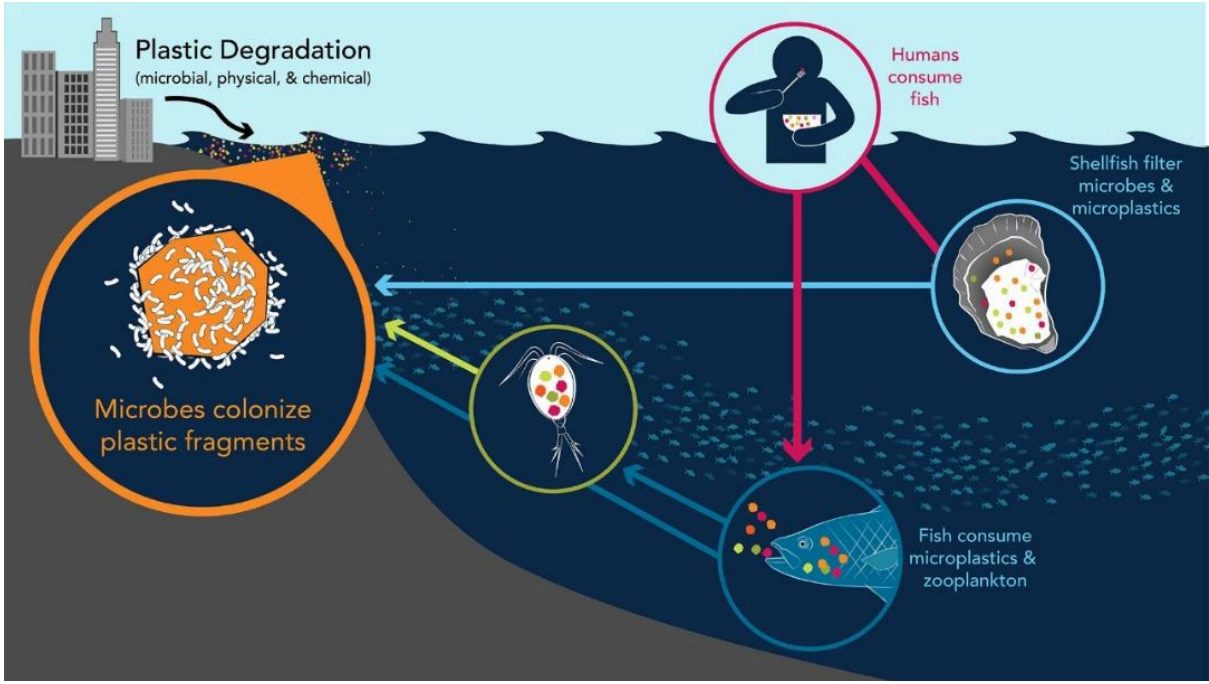
Plastik kullanımının tıp, havacılık, savunma ve gıda güvenliği gibi kritik sektörlerdeki ikamesi, yüksek teknolojik standartlar gerektirmektedir. Sterilizasyon kabiliyeti yüksek tıbbi malzemelerin veya gıdayı taze tutan bariyer filmlerinin yerini alacak maddelerin tasarımı üst düzey mühendislik gerektirir. Biyobozunur polimerler, kitin, selüloz bazlı biyokompozitler ve miselyum teknolojileri bu materyalin yerini tutabilecek sürdürülebilir alternatifler arasında araştırılmaktadır. Ancak bu alternatiflerin seri üretim maliyetleri, lojistik esneklikleri ve yapısal mukavemetleri henüz endüstrinin yerleşik standartlarını tam anlamıyla karşılayacak düzeyde değildir.

Makro düzeydeki bu dönüşüm sancuları yaşanırken, bireylerin mikro önlemler (gelişmiş su filtreleri kullanma, plastik ambalajlı gıdalardan kaçınma, mikroplastik salınımı yüksek sentetik kıyafetleri reddetme vb.) alması kişisel sağlığı korumada lokal bir kalkan oluşturabilir; fakat küresel kirlilik dalgasını durdurmadaki etkinliği son derece kısıtlıdır. Bu bağlamda, kirliliğin finansal ve hukuki maliyetinin yönetimi için "Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu" (EPR) ilkeleri devreye girmektedir. Çevresel maliyetlerin, ürünü nihai olarak tüketen bireyden mi yoksa bu polimerleri pazara süren üretici dev şirketlerden mi tahsil edilmesi gerektiği sorusu, hem uluslararası çevre hukukunun hem de sürdürülebilir kalkınma ekonomisinin en temel tartışma zeminini oluşturmaktadır.

1.6. Mikroplastik Karşıtı Gelişmiş Filtrasyon ve Nanoteknolojik Çözümler

Makro düzeydeki yasal süreçler devam ederken, bireysel ve yerel ölçekte su kaynaklarının korunması adına ileri filtrasyon teknolojilerinin önemi artmaktadır. Geleneksel kum ve karbon filtrelerin tamamen yetersiz kaldığı nanoplastik eliminasyonunda, grafen bazlı gözenekli membranlar ve elektro-dokuma (electrospun) nanofiber ağlar devreye girmektedir. Bu filtreler, gözenek boyutlarının mikron altı hassasiyeti ve yüzey alanı genişliği sayesinde 100 nm altındaki plastik partiküllerini bile fiziksel ve elektrostatik olarak tutma kapasitesine sahiptir.

Ancak nanoteknolojik filtrelerin kent ölçeğindeki evsel sulara veya endüstriyel arıtma tesislerine entegrasyonu, membranların zamanla polimerik atıklar yüzünden tıkanması (fouling), yüksek enerji gereksinimi ve kitlesel üretim maliyetleri gibi mühendislik bariyerleri içermektedir. Komitenin, bu lokal teknolojik bariyerlerin aşılması adına yerel yönetim bazı sübvansiyon politikalarını, kamu-üniversite iş birliklerini ve belediyelerin arıtma altyapılarının modernizasyon stratejilerini tartışması gerekmektedir.

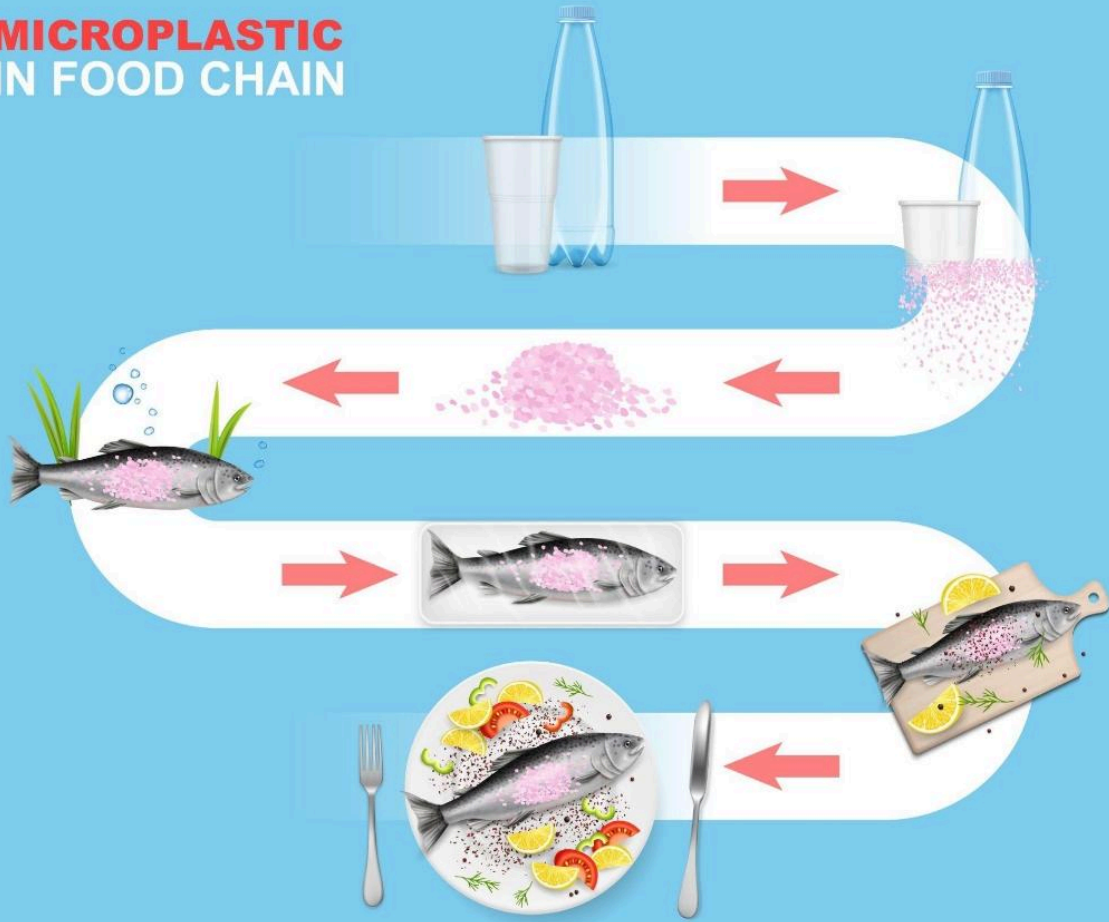


1.7. Biyo-Parçalanma ve Plastik Yiyen Mikroorganizmalar (Biyoremediyasyon)

Yapay polimerlerin ekosistemden temizlenmesi adına en heyecan verici ve biyoteknolojik vizyon sunan alanlardan biri de biyoremediyasyondur. Doğal seleksiyonun bir cilvesi olarak, plastik yoğun ortamlarda mutasyona uğrayan *Ideonella sakaiensis* gibi bakteriyel türlerin, salgıladıkları özel enzimler vasıtasıyla plastik bağlarını hidrolize edebildiği keşfedilmiştir. Bu mikroorganizmalar, sentetik polimerleri kendi metabolizmaları için temel bir karbon ve enerji kaynağı olarak kullanabilmektedir.

Ancak bu bakterilerin doğal çevre koşullarındaki hidroliz ve parçalama hızları, endüstriyel atık birikim ve doğaya salınım hızının fersah fersah gerisindedir. Sentetik biyoloji araçları, protein mühendisliği ve CRISPR reaktörleri kullanılarak bu enzimlerin katalitik aktivitelerinin laboratuvarında binlerce kat optimize edilmesi hedeflenmektedir. Öte yandan, genetiği değiştirilmiş bu mikroorganizmaların okyanus sularına veya katı atık depolama alanlarına kontrollü ya da kontrolsüz salını, öngörülemez biyo-güvenlik riskleri barındırmaktadır. Bu bakterilerin plastik ambalajlı kritik tıbbi ekipmanlara veya sivil altyapılara bulaşması durumunda yaşanabilecek katastrofik senaryolar, komite oturumlarında biyoetik ve uluslararası güvenlik ekseninde masaya yatırılmalıdır.

MICROPLASTIC IN FOOD CHAIN



1.8. Kaynakça: Altın, A., Öztürk, B., & Güven, O. (2020). *Microplastics in marine environments: Contamination, toxicity, and circular economy solutions*. Çevre Bilim Dergisi, 14(2), 112-128. (1.1, 1.2, 1.4 ve 1.6 alt başlıkları için referans kaynak)

Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2007). *The rise of graphene*. Nature Materials, 6(3), 183-191. (1.6 İleri nanoteknolojik grafen membran filtrasyonu teorik altyapısı)

Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., ... & Oda, K. (2016). *A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)*. Science, 351(6278), 1196-1199. (1.7 Biyoremediyasyon ve bakteriyel plastik parçalanması keşif makalesi)

Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). *Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 2153-2166. (1.2 ve 1.3 alt başlıkları için ekotoksikoloji kaynağı)

1.9. Çalıştay Tartışma Soruları:

Soru 1: Küresel ekonominin plastiğe olan yapısal bağımlılığı göz önüne alındığında, üretimi tamamen durdurmak mı yoksa mevcut plastikleri kimyasal süreçlerle (örneğin selüloz asetat geri dönüşümü gibi - GençBizz girişimcilik projemizde ele aldığımız konu.) yeniden ekonomiye kazandırmak mı daha gerçekçi bir çözümdür?

Soru 2: İnsan vücudunun plastik partiküllere "adapte olması" biyolojik olarak mümkün müdür, yoksa bu durum kaçınılmaz bir sağlık krizine mi işaret eder?

Soru 3: Gelecekte plastik kullanımı tamamen yasaklanırsa, tıp ve havacılık gibi kritik sektörlerde bu materyalin yerini tutabilecek sürdürülebilir alternatifler neler olabilir?

Soru 4: Bireylerin plastik kullanımını azaltmak için aldığı mikro önlemler (filtreler, beslenme değişiklikleri vb.) küresel bir kirlilik sorununda ne kadar etkili olabilir?

Soru 5: Plastik üreticisi dev şirketlerin "çevresel sorumluluk" payı ne olmalıdır; kirliliğin maliyeti tüketiciden mi yoksa üreticiden mi tahsil edilmelidir?

II. BÖLÜM

LABORATUVAR ORTAMINDA TASARLANAN YAŞAM: GIDA VE CANLI ÜRETİMİ

2.1. Giriş ve Biyomühendislik Devrimi

Yirminci yüzyılın son çeyreğinde rekombinant DNA teknolojisi ve genetik mühendisliğinde yaşanan devrim, günümüzde biyolojiyi gözlemlenen bir doğa olayından ziyade, kodlanabilir ve manipüle edilebilir bir mühendislik disiplini haline getirmiştir. Günümüz biyoteknolojisi; hayvansal et, sebze ve meyvelerin yanı sıra karmaşık organizmaların, evcil hayvanların ve hatta spesifik organ yapılarının laboratuvar ortamında sıfırdan "tasarlanmasına" imkan tanımaktadır.

Hücre kültürü, doku mühendisliği ve dördüncü sanayi devriminin getirdiği 3D biyobasım (bioprinting) teknikleri, geleneksel tarım ve hayvancılık yöntemlerine ihtiyaç duymadan endüstriyel ölçekte biyolojik materyal üretmeyi mümkün kılmıştır. Bu durum, insanlığın doğayla olan tarihsel ve evrimsel bağını temelden sarsarak, yaşamın kaynağını ve üretim biçimini açık semalardan ve doğal ekosistemlerden tamamen izole edilmiş kontrollü laboratuvar reaktörlerine kaydırmaktadır.

2.2. Hücre Kültürü Teknolojisi, İskele Yapıları ve Hücresel Tarım

Hücresel tarım, canlı bir hayvanı büyütüp kesme ihtiyacı duymadan, doğrudan o hayvana ait kök hücrelerin izole edilerek laboratuvarında çoğaltılması prensibine dayanır. Kültür eti (yapay et) üretimi, bir hayvandan lokal anesteziyle alınan biyopsi örneğindeki uydu hücrelerin, amino asitler, vitaminler ve büyüme faktörleriyle zenginleştirilmiş bir besiyeri (büyüme sıvısı) içinde, devasa biyoreaktörlerde tanklar halinde çoğaltılmasıyla gerçekleştirilir. Bu süreçte en büyük mühendislik ve biyoloji açmazlarından biri, hücrelerin sadece iki boyutlu bir tabaka olarak kalmasını önleyen ve onlara gerçek et dokusunun üç boyutlu formunu, vaskülarizasyonunu (damarlanmasını) ve çiğneme hissini veren biyo-uyumlu iskele (scaffold) yapılarının tasarımıdır.

Hücre kültürü ve doku mühendisliği ile üretilen bu yeni nesil gıdalar, geleneksel hayvancılığın yarattığı devasa çevresel yükü (metan gazı emisyonları, aşırı tatlı su tüketimi, ormansızlaşma ve arazi tahsisi) radikal bir biçimde düşürmeyi vaat etmektedir. Ancak bu gıdaların, milyonlarca yıllık evrimsel süreçle şekillenen geleneksel muadillerinin sunduğu karmaşık besin değerlerini, mikro besin öğelerini (organik demir, çinko, B12 vitamini vb.) ve biyoyararlanımı (insan sindirim sistemi tarafından emilim oranını) tam anlamıyla karşılayıp karşılayamayacağı bilimsel bir tartışma konusudur. Kültür gıdalarının sadece endüstriyel bir "kalori ve protein kaynağı" olarak tasarlanması, uzun vadede insan popülasyonlarında mikrobesein eksikliklerine bağlı yeni nesil metabolik ve sistemik sağlık sorunlarına yol açabilir.

2.3. Biyoteknolojik Canlı Ticareti ve Canlıların Ontolojik Statüsü

Teknolojinin ulaştığı bir diğer radikal boyut ise tekil hücrelerin ötesine geçerek, çok hücreli karmaşık organizmaların, yani evcil hayvanların laboratuvarlarda klonlanması veya genetik olarak modifiye edilerek ticari bir meta haline getirilmesidir. Somatik hücre nükleer transferi yönteminin rafine edilmesi ve CRISPR-Cas9 gibi hassas gen düzenleme mekanizmalarının ticari pazara inmesi, ölen evcil hayvanların genetik ikizlerinin üretilmesinden, belirli estetik ve fiziksel özelliklere sahip "tasarım canlıların" yaratılmasına kadar geniş bir endüstri doğurmuştur.

Genetik modifikasyonla üretilen veya klonlanan evcil hayvan ticareti, canlıların felsefi manada bir "tüketim nesnesi" haline gelmesi tartışmasını en uç noktaya taşımaktadır. Hayvanların, sahiplerinin estetik tercihlerine, hipoalerjenik kürk beklentilerine veya belirli mizaç kalıplarına göre "sipariş üzerine" laboratuvarında manipüle edilmesi, canlıların kendine has ontolojik statüsünü ve içsel değerini zedelemektedir. Bu durum, yaşayan, hissedilen, acı çekme ve refah hakkına sahip olan bir organizmanın, banttan indirilen fabrikasyon bir ev eşyasından veya lüks bir aksesuardan farksız hale gelmesine neden olarak modern etik teorilerinde derin bir ahlaki yarılma yaratmaktadır.

2.4. Yapay Seçilim Baskısı, Doğallık ve Ekolojik Riskler

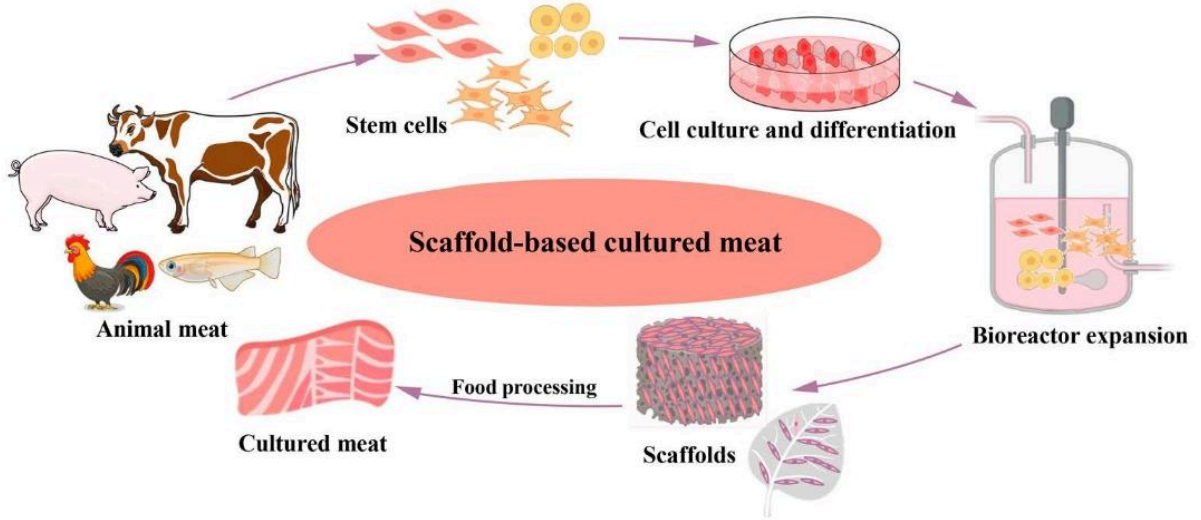
Bu biyoteknolojik ilerleme hızı, doğallık, yapaylık ve etik sorumluluk kavramlarını kökten yeniden tanımlamamızı ve sınırlandırmamızı gerektirmektedir. "Doğal" olanın felsefi tanımı, laboratuvar yapımı kusursuz kopyaların veya optimize edilmiş genetik varyasyonların varlığıyla tamamen bulanıklaşmaktadır. Bir canlının laboratuvarında ticari kaygılarla manipüle edilerek üretilmesi, o canlının evrimsel doğasını ve türsel bütünlüğünü ihlal eden bir eylem olarak konumlandırılabilir.

Ayrıca, genetik olarak modifiye edilmiş bu laboratuvar yapımı hayvanların, bitkilerin veya sentetik biyolojik varyetelerin ticari amaçlarla yaygınlaştırılması ve lojistik süreçlerde kazara doğal ekosistemlere karışması, yerel biyoçeşitlilik için geri dönüşü olmayan bir "genetik kirlilik" riski taşımaktadır. Yapay seçilim ve gen sürücüleri (gene drives) vasıtasıyla laboratuvarında çevre koşullarına veya hastalıklara karşı aşırı optimize edilmiş bu yapay türler, vahşi doğadaki ekolojik nişleri agresif bir şekilde işgal ederek, milyonlarca yıllık doğal seçilimle evrimleşmiş yerli ve vahşi türlerin popülasyonunu kırabilir ve trofik zincirlerin (besin ağlarının) öngörülemez bir şekilde çöküşünü tetikleyebilir.

2.5. Küresel Biyo-Ekonomi Jeopolitiği, Patent Hakları ve Sosyo-Kültürel Bariyerler

Gıda ve canlı üretiminin topraktan, meralardan ve yerel çiftliklerden yüksek teknoloji laboratuvarlara kayması, küresel gıda jeopolitiğini ve uluslararası güç dengelerini de kökten sarsacaktır. Bu dönüşüm, iklim krizinin vurduğu kurak coğrafyalarda dünya genelindeki açlık ve kıtlık sorununa teknolojik, mevsimlerden bağımsız ve sürdürülebilir bir çözüm sunma potansiyeline sahipken; madalyonun diğer yüzünde gıdayı, bu yüksek bütçeli Ar-Ge altyapılarına, patent haklarına ve endüstriyel biyoreaktör patentlerine sahip gelişmiş kuzey ülkelerinin ve uluslararası agro-teknoloji megaşirketlerinin tekeline sokma riski barındırmaktadır. Tarım ve geleneksel hayvancılıkla geçinen gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerin ekonomik olarak marjinalleşmesi, küresel bağımlılık koridorlarını daha da derinleştirecektir.

Son olarak, bu teknolojiler bilimsel otoritelerce ne kadar "güvenli", sterillik açısından kusursuz ve besleyici olarak kanıtlanırsa bile, insanlığın antropolojik süreç boyunca geliştirdiği geleneksel beslenme kültürleri, gastronomik miraslar, dini hassasiyetler (helal, kosher, vejetaryenlik sınırlarının yeniden çizilmesi tartışmaları) ve psikolojik "iğrenme reaksiyonları" (neofobi) nedeniyle laboratuvar üretimi gıda ve canlıların toplumsal tabanda benimsenmesi önünde aşılması son derece güçlü psikolojik, kültürel ve sosyolojik bariyerler bulunmaktadır.



2.6. Hücresel Gıda Güvenliği ve Uluslararası Mevzuat Boşluğu

Laboratuvar ortamında tasarlanan yaşam formlarının ve hücresel gıda ürünlerinin jet hızıyla ticarileşme süreci, geleneksel gıda güvenliği ve sağlık denetim protokollerini (FDA, EFSA, Sağlık Bakanlığı mevzuatları vb.) bypass edebilecek ya da yetersiz kılacak yeni yasal boşluklar barındırmaktadır. Sentetik veya laboratuvar ortamında hızlandırılmış olarak üretilen bir protein yapısının, kimyasal besiyeri kalıntılarının veya doku kültürlerinin uzun vadeli (nesiller arası) insan metabolizması ve mikrobiyomu üzerindeki biyo-uyumluluk ve toksisite testleri onlarca yıllık izleme süreçleri gerektirmektedir.

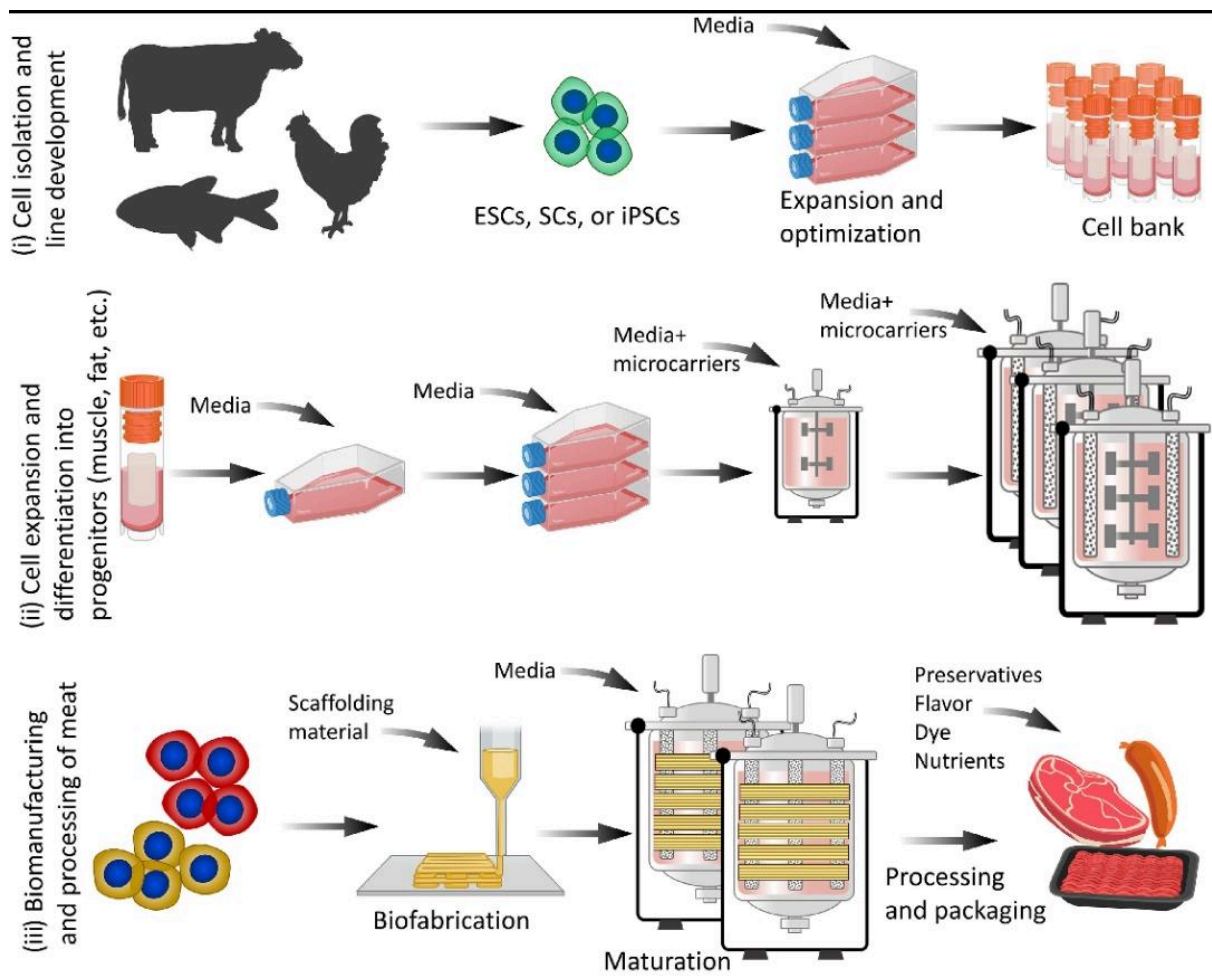
Ayrıca, bu ürünlerin pazardaki etiketleme standartları (örneğin tüketicinin şeffaf bilgilendirilmesi adına "hücresel tarım ürünüdür" ibaresinin zorunluluğu) ve fikri mülkiyet hakları sınırları uluslararası hukukta henüz net bir zemine oturtulmamıştır. Biyoteknoloji şirketlerinin patentli gen dizilimlerine sahip canlı organizmaları doğaya salması veya fikri mülkiyet koruması altındaki besin kodlarını tekelinde tutması, küresel bir biyolojik oligopol yaratabileceği için acilen bağlayıcı bir uluslararası biyo-hukuk ve biyo-güvenlik mevzuatının oluşturulması, çalıştay delegelerinin birincil hukuki misyonu olmalıdır.

2.7. Ksenotransplantasyon ve Laboratuvar Üretimi Organ Teknolojileri

Laboratuvar ortamında yaşam tasarımının gıda ve tarım dışındaki en kritik, devrimsel ve aynı zamanda ürkütücü izdüşümü, insan organ yetmezliklerine radikal çözümler arayan rejeneratif tıp ve cerrahi sektörüdür. CRISPR gen düzenleme teknolojisi sayesinde, domuz genomundaki insan bağışıklık sistemine akut reddetme atağı (hiperakut red) yaşatacak şeker moleküllerini

sentezleyen genlerin susturulması ve bu sayede hayvandan insana organ nakli (ksenotransplantasyon) yapılması çalışmaları klinik aşamalara gelmiştir.

Bununla da kalmayıp, insan uyarılmış pluripotent kök hücrelerinden (iPSC) laboratuvar kaplarında büyütülen ve organ fonksiyonlarını taklit eden minyatür üç boyutlu doku yapıları (organoidler), kişiselleştirilmiş tıp ve ilaç testlerinde hayvan deneylerinin yerini alma potansiyeline sahiptir. Ancak bu muazzam tıbbi ilerleme, "İnsan genlerini ve dokularını taşımaya başlayan transgenik bir hayvanın hukuki ve ahlaki statüsü nedir?" ya da "Klonlanmış ve bilinci baskılanmış karmaşık organizmalar sadece birer biyolojik yedek parça deposu olarak kullanılabilir mi?" gibi insan onurunu ve yaşamın kutsallığını doğrudan sorgulatan can alıcı biyoetik soruları beraberinde getirmektedir.



2.8. Kaynakça: Post, M. J. (2012). *Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects*. *Meat Science*, 92(3), 297-301. (2.2 Hücre Kültürü ve Hücresel Tarım alt başlığı için temel kaynak)

Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). *Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture*. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 155-166. (2.5 ve 2.6 Sosyo-Kültürel Bariyerler ve Uluslararası Mevzuat Boşluğu kaynak makalesi)

Wilmot, I., Schnieke, A. E., McWhir, J., Kind, A. J., & Campbell, K. H. (1997). *Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells*. *Nature*, 385(6619), 810-813. (2.3 ve 2.4 Biyoteknolojik Canlı Ticareti ve Klonlama süreçleri referansı)

Lanza, R., Cooper, D. K., & Ross, M. H. (2020). *Principles of Xenotransplantation and Organoid Bioengineering*. Academic Press. (2.7 Ksenotransplantasyon og organ tasarımı tbbi-etik el kitabı)

2.9. Çalıştay Tartışma Soruları:

Soru 1: Laboratuvarda üretilen gıdalar, geleneksel gıdaların sunduğu karmaşık besin değerlerini ve biyoyararlanımı tam olarak karşılayabilir mi, yoksa sadece "kalori kaynağı" olarak mı kalacaktır?

Soru 2: Bir canlının (evcil hayvanın) "sipariş üzerine" belirli fiziksel özelliklerle laboratuvarda üretilmesi, o canlının haklarını ve doğasını ihlal eder mi?

Soru 3: Gıda üretiminin topraktan laboratuvarlara kayması, dünya genelindeki açlık sorununu mu çözer yoksa gıdayı teknolojiye sahip ülkelerin tekeline mi sokar?

Soru 4: Genetik olarak modifiye edilmiş laboratuvar hayvanlarının ticareti, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem dengesi için ne tür öngörülemeyen riskler taşımaktadır?

Soru 5: Tüketiciler, teknolojik olarak "güvenli" olduğu kanıtlanırsa bile, laboratuvar ortamında üretilen gıda ve canlıları toplumsal ve kültürel olarak benimseyebilir mi?

III. BÖLÜM

İKLİM MÜHENDİSLİĞİ: GEZEĞENİ KURTARMAK İÇİN DOĞAYA MÜDAHALE EDİLMELİ Mİ?

3.1. Giriş, Antroposen Çağı ve Jeomühendislik İhtiyacı

Küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması yönündeki uluslararası iklim mutabakatlarının ve diplomatik yaptırımların (Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması, COP zirveleri) ekonomik ve politik çıkarlar yüzünden sürekli akamete uğraması, sanayi öncesi döneme kıyasla küresel sıcaklık artışının kritik ve geri döndürülemez olan 1.5°C ve 2°C eşiklerini aşma eğilimini kesinleştirmiştir. Bu durum, bilim dünyasını ve küresel karar alıcıları, emisyon azaltımının ötesine geçerek "Jeomühendislik" (İklim Mühendisliği) alternatiflerini bir B planı, bir acil durum müdahale senaryosu olarak masaya yatırmaya zorlamıştır. İklim mühendisliği, küresel ısınmanın ve buna bağlı iklim krizinin yıkıcı etkilerini (buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı hava olayları) hafifletmek amacıyla dünya iklim sistemine gezegen ölçeğinde, kasıtlı, sistematik ve yüksek teknoloji olarak yapılan büyük ölçekli müdahaleler bütünüdür. Bu yöntemler temelde iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Güneş Radyasyonu Yönetimi (SRM) ve Karbon Dioksit Azaltımı (CDR).

3.2. Güneş Radyasyonu Yönetimi (SRM) ve Hidrolojik Döngüye Etkileri

Güneş ışığını yapay olarak uzaya geri yansıtarak gezegeni soğutma prensibine dayanan Güneş Radyasyonu Yönetimi (SRM) teknolojilerinin en radikal ve tartışmalı olanı, atmosferin stratosfer tabakasına özel tasarlanmış yüksek irtifa uçakları veya balonlar vasıtasıyla milyonlarca ton sülfat aerosolü enjekte etmektir (Stratosferik Aerosol Enjeksiyonu - SAI). Bu yöntem, büyük volkanik patlamaların (örneğin 1991'deki Pinatubo patlaması) ardından küresel sıcaklıkların geçici olarak düşmesine neden olan doğal fenomeni yapay ve sürekli olarak taklit etmeyi amaçlar. Bir diğer yöntem olan deniz bulutlarının aydınlatılması (MCB) ise okyanus üzerindeki alçak bulutlara deniz tuzu aerosolleri püskürterek bulutların yansıtıcılığını (albedo) artırmayı ve böylece bölgesel soğuma sağlamayı hedefler. Bu küresel sistemlerin yanı sıra, yerel ölçekte kuraklıkla mücadele etmek veya su havzalarını doldurmak amacıyla gümüş iyodür, potasyum iyodür veya kuru buz kristalleri vasıtasıyla bulut tohumlama teknolojileri kullanılarak yapay yağış sistemleri sıklıkla devreye konulmaktadır.

Ancak bu teknolojiler küresel sıcaklık eğrilerini teorik olarak birkaç ay içinde hızla düşürme potansiyeline sahip olsa da, atmosferik dinamikleri, jet akıntılarını, muson yağmurları döngülerini ve küresel hidrolojik çevrimi geri döndürülemez şekilde bozma riski taşımaktadır. Termodinamik dengelerle yapay olarak oynamak, bir coğrafyada (örneğin Kuzey Yarımkürede) iklimi stabilize ederken, bir başka kırılğan coğrafyada (örneğin Sahra Altı

Afrika veya Güney Asya'da) katastrofik kuraklıklara, musonların kesilmesine ve buna bağlı tarımsal üretimin çökerek milyarlarca insanı vuracak kıtlıklara sebebiyet verebilir. Yerel bulut tohumlama operasyonları bile komşu ülkelerin atmosferik nemini "çalma" potansiyeli taşıdığı için sınır aşan su ve hava krizlerine yol açabilir.

3.3. Karbondioksit Azaltımı (CDR), CCS Altyapıları ve Okyanus Asitlenmesi

Karbondioksit Azaltımı (CDR) teknolojileri, SRM'nin aksine semptomları maskeleyemeyi değil, küresel ısınmanın kök nedeni olan atmosferdeki birikmiş endüstriyel sera gazlarını doğrudan doğruya ortadan kaldırmayı amaçlar. Doğrudan Hava Yakalama (DAC) tesisleri, kimyasal mühendisliğin ulaştığı son noktalardan biridir; bu devasa endüstriyel tesisler, yüksek enerjili fanlar yardımıyla atmosferik havayı emerek katı veya sıvı kimyasal emiciler (amin bazlı solventler) vasıtasıyla karbon dioksiti moleküler düzeyde yakalar. Yakalanan bu saf karbon gazı, yüksek basınç altında sıvılaştırılarak derin jeolojik formasyonlara, eski petrol kuyularına veya bazaltik kayaç katmanlarına sızdırmaz bir şekilde enjekte edilerek kalıcı olarak depolanır (Karbon Yakalama ve Depolama - CCS).

Bir diğer CDR yöntemi ise okyanusların demir sülfat gibi besin maddeleri ile yapay olarak gübrenmesi (ocean fertilization) yoluyla mikroskobik deniz alglerinin (fitoplankton) kontrolsüzce çoğalmasını tetiklemek ve böylece devasa biyolojik karbon yutakları yaratmaktır. CDR yöntemleri, SRM'ye göre ekolojik açıdan daha güvenli ve rasyonel kabul edilse de, bu tesislerin inşası ve işletilmesi için gereken devasa finansal yatırımlar, süreçlerin yüksek enerji tüketimi (paradoksal olarak yine enerji üretimi gerektirmesi) ve yakalanan milyarlarca ton karbonun yer altında sismik hareketlerden etkilenmeden, sızdırmaz bir şekilde yüzyıllarca nasıl tutulacağına mühendislik ve jeolojik risklerini barındırmaktadır. Üstelik okyanus tabanlı biyolojik müdahaleler, deniz ekosistemlerinin trofik dengesini bozarak deniz yaşamının ani ölümüne ve okyanus asitlenmesinin bölgesel olarak lokal patlamalar yapmasına sebebiyet verebilir.

3.4. Çevre Etiği ve "Ahlaki Tehlike" (Moral Hazard) Paradoksu

Gezegen ölçeğinde, dünyanın karmaşık iklim mekanizmalarına teknolojik araçlarla müdahale etmek, bilim felsefesi, teoloji ve çevre etiği açısından derin varoluşsal tartışmaları beraberinde getirir. İklim mühendisliğinin etik olarak meşru olup olmadığı sorusu, insanlığın doğa üzerindeki tahakküm sınırlarını, teknolojik kibrini (hubris) ve modern literatürde "Tanrıyı oynamak" (Playing God) olarak kavramsallaştıran felsefi sınırı doğrudan sorgular. Bizler bozduğumuz bir mekanizmayı, daha büyük bir teknolojik müdahaleyle tamir etmeye çalışırken ekosisteme karşı ahlaki sorumluluklarımızı yerine mi getiriyoruz, yoksa hatamızda ısrar mı ediyoruz?

En büyük etik ve politik risklerden biri, bu teknolojilerin fosil yakıt lobileri, karbon yoğun sanayi kolları ve iklim sorumluluğundan kaçmak isteyen hükümetler tarafından kusursuz bir kaçış rampası, yani bir "Ahlaki Tehlike" (Moral Hazard) paradoksu yaratmasıdır. İklim mühendisliği sistemlerinin ve yapay soğutma kalkanlarının varlığı, emisyon azaltımı

yönündeki radikal ve sancılı yapısal ekonomik reformların, yeşil enerjiye geçiş çabalarının ve sürdürülebilir yaşam modellerinin yerini almamalı, karbon salınımını sıfırlama motivasyonunu kırmamalıdır. Aksi takdirde jeomühendislik, kök sorunu (fosil yakıt bağımlılığını) asla çözmeden sadece semptomları yapay olarak maskeleyen ve insanlığı sonsuza dek sürecek, her an çökebilecek yapay bir gezegensel yaşam destek ünitesine bağımlı kılan distopik bir araç haline gelecektir.

3.5. Uluslararası Hukuk Boşluğu, Jeopolitik Asimetri ve Sonlandırma Şoku

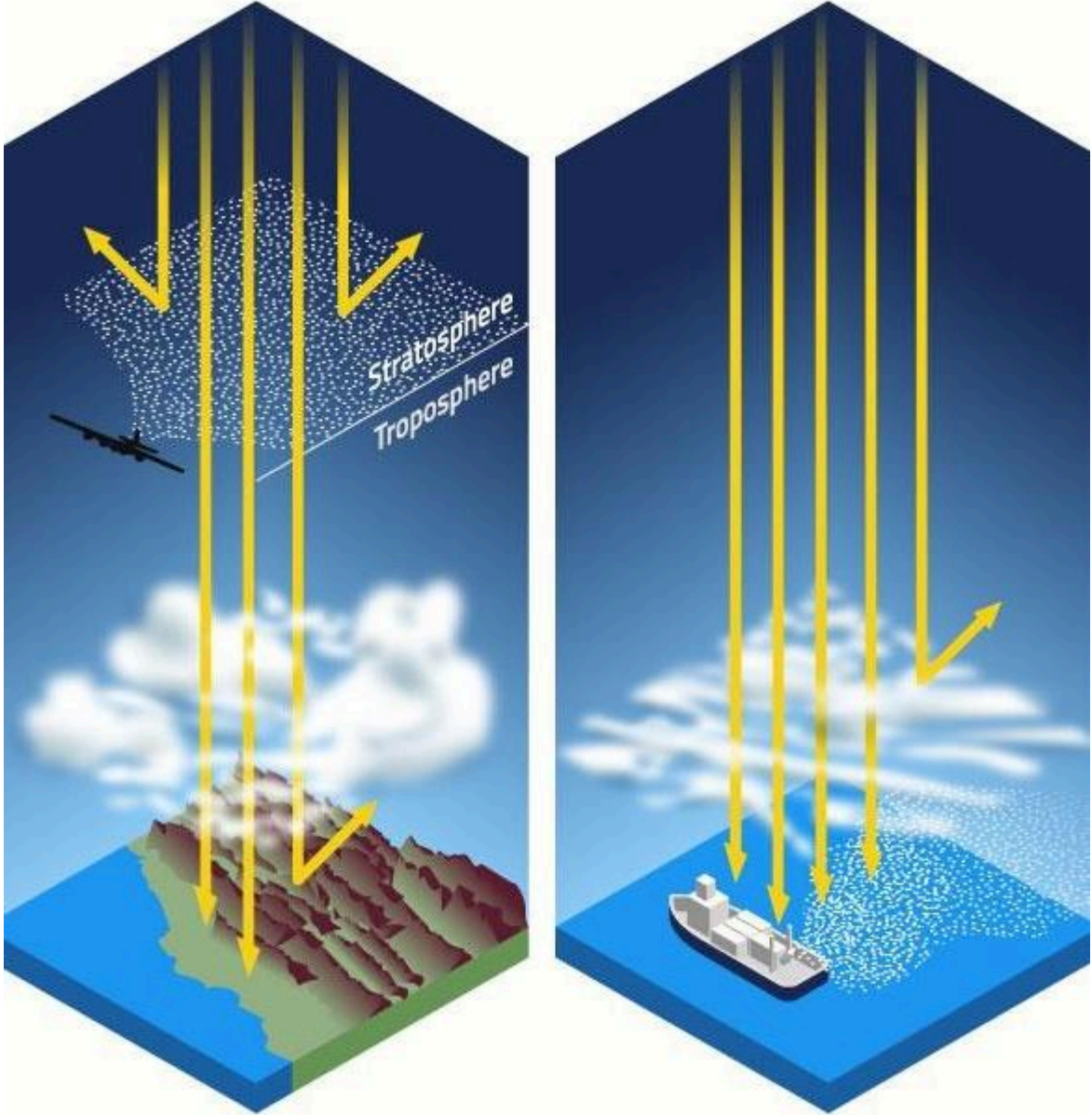
İklim mühendisliği teknolojilerinin sivil ve askeri stratejideki en tehlikeli boyutu, uluslararası hukukta, anlaşmalarda ve küresel yönetim mekanizmalarında var olan mutlak otorite boşluğudur. Bu devasa sistemlerin kontrolü, düğmesine kimin basacağı, aktivasyon kriterleri, küresel sıcaklık ayarının kaç dereceye sabitleneceği ve yönetim yetkisinin hangi uluslararası kuruma verileceği soruları tamamen yanıtızdır. Rusya veya Kanada gibi soğuk kuzey ülkeleri küresel ısınmanın getirdiği tarımsal alan genişlemesinden memnunken, ada devletleri veya ekvatorial ülkeler batmaktadır; bu durumda "küresel ideal sıcaklık" kime göre belirlenecektir? Tek taraflı olarak (unilateral) askeri-teknolojik güce sahip egemen bir ülkenin ya da çok uluslu teknoloji milyarderi bir şirketin kendi çıkarları doğrultusunda jeomühendislik müdahalesinde bulunması, küresel güç dengelerini sarsarak yeni nesil jeopolitik çatışmalara, yani "iklim, siber-hava ve atmosfer savaşlarına" yol açabilir. Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi veya benzeri üst düzey, tarafsız ve bağlayıcı bir küresel otoritenin mutlak denetimi ve konsensüsü olmaksızın bu teknolojilerin saha uygulamalarına geçilmesi medeniyetler arası bir savaş sebebidir.

En büyük uzun vadeli ve katastrofik fiziksel risklerden biri de literatürde "Sonlandırma Şoku" (Termination Shock) adı verilen korkunç olgudur. Eğer küresel sıcaklık artışını baskılamak adına atmosfere kesintisiz aerosol enjeksiyonu yapan bir SRM sistemi kurulur ve bu sistem 20-30 yıl boyunca başarıyla çalıştırdıktan sonra; küresel bir ekonomik kriz, dünya çapında bir siber saldırı, güneş fırtınası, dünya savaşı veya askeri sabotaj gibi bir kriz sebebiyle aniden ve tamamen durdurulursa ne olur? Atmosfere aerosol salımı durduğu anda, sülfat parçacıkları birkaç hafta içinde yere çökecektir. Ancak o 30 yıl boyunca insanlık fosil yakıt yakmaya ve atmosfere CO2 salmaya devam ettiği için, maskelenen sera etkisi aniden serbest kalacaktır. Gezegen sıcaklığı birkaç yıl gibi biyolojik olarak imkansız bir zaman diliminde aniden $4-5^{\circ}\text{C}$ birden artacaktır. Bu ani şok, ekosistemlerin, ormanların, tarım ürünlerinin ve dolayısıyla insan medeniyetinin uyum sağlayamadan kitlesel ve hızlı bir şekilde yok olmasına (extinction event) sebebiyet verebilecek en büyük jeomühendislik tehdididir.

3.6. Bölgesel Karbon Borsaları ve Jeomühendislik Finansmanı

İklim mühendisliği projelerinin milyar dolarlık operasyonel ve teknolojik maliyetleri, küresel finans kapitali, karbon piyasaları ve Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (ETS) gibi mekanizmalarla entegre edilmeye başlanmıştır. Doğrudan havadan karbon yakalayan (DAC) veya okyanus gübrelemesi yapan devasa endüstriyel girişimler, atmosferden temizledikleri net karbon tonajı oranında "negatif emisyon sertifikası" veya "karbon kredisi" üreterek serbest finans piyasalarında yüksek karbon salınımı yapan havayolu, çimento veya otomotiv devlerine satmaktadır.

Bu durum, jeo mühendisliği ve karbon yakalamayı uluslararası borsalarda son derece karlı ve spekülasyon bir iş modeline dönüştürürken, emisyon salmaya aynen devam etmek isteyen çok uluslu şirketler için kusursuz bir finansal günah çıkarma ve aklama mekanizması (greenwashing) riski barındırmaktadır. Doğa müdahalesi ticari kar hırsıyla birleştiğinde, finansal spekülasyonlar iklim güvenliğinin önüne geçebilir. Komitenin, iklim manipülasyonunun finansal tabanını, haksız karbon ticaretini ve şirketlerin manipülatif yeşil yatırımlarını denetleyecek, devletler üstü bağımsız bir küresel "Karbon ve Jeomühendislik Tahkim Mahkemesi" fikrini yapısal olarak değerlendirmesi elzemdir.

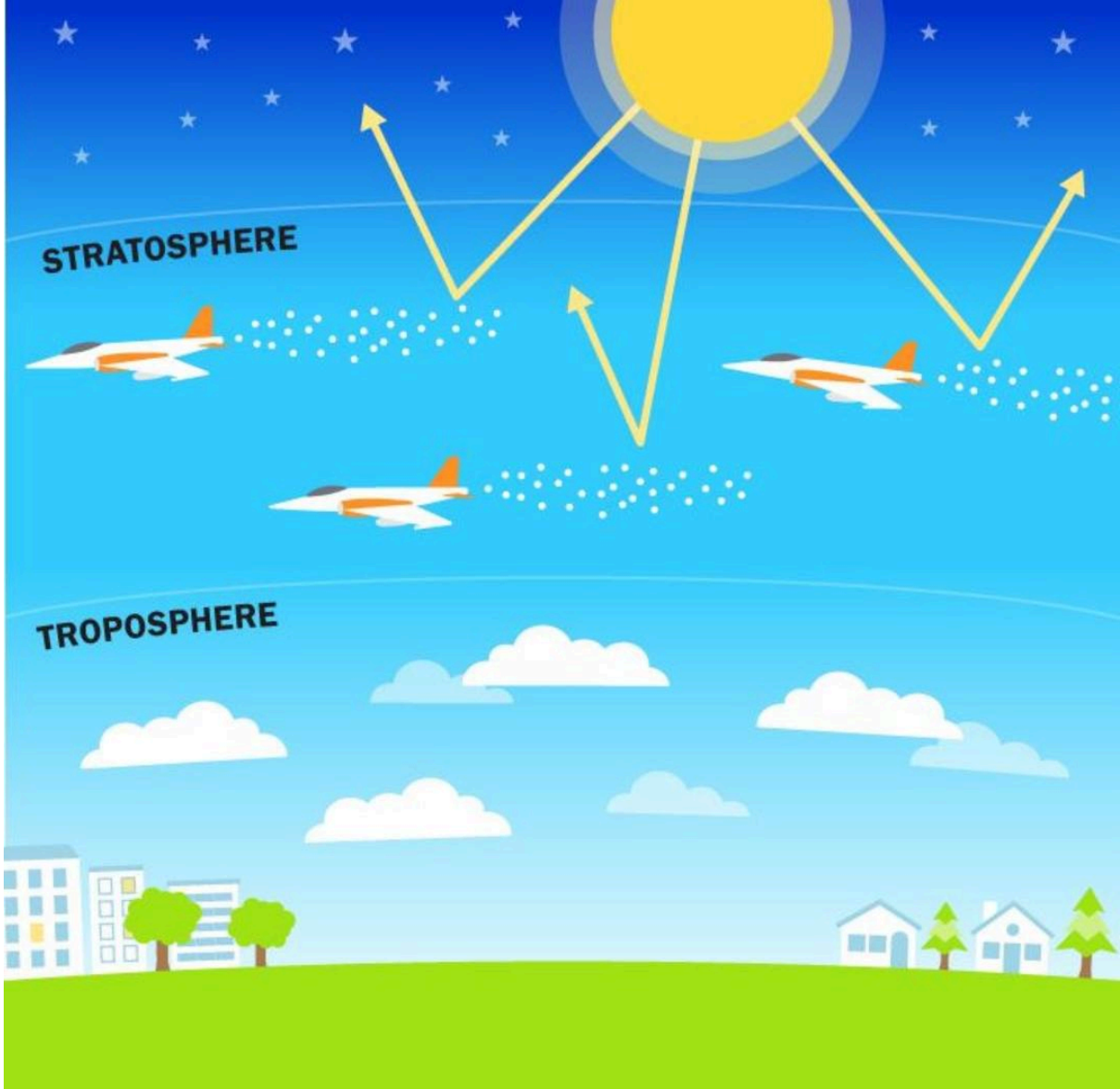


3.7. Arktik Buz Albedosunun Korunması ve Bölgesel Ekosistem Manipülasyonları

Gezegen ölçeğindeki stratosferik projelerin yanı sıra, kutup bölgelerindeki buzul erimesini lokal olarak durdurmak adına mikroskobik cam küreciklerin (silis bazlı içi boş nano yapılar) devasa buzul yüzeylerine serpilerek yüzey yansıtıcılığının (albedo) yapay olarak artırılması ve güneş ışınlarının geri yansıtılması projeleri bölgesel olarak test edilmektedir. Benzer şekilde, Grönland buzullarının altına devasa su altı perdeleri çekerek sıcak okyanus akıntılarının buzulları dipten eritmesini engelleme projeleri de mühendislik masasındadır.

Ancak bu tür lokal ve bölgesel jeomühendislik müdahaleleri, Arktik ekosisteminin temelini oluşturan alg topluluklarına, deniz memelilerine ve yerli halkların (İnuitler vb.) tarihsel yaşam

alanlarına doğrudan doğruya fiziksel ve kimyasal müdahalelerde bulunmaktadır. Bölgesel olarak yapılan bu mikro manipülasyonların, küresel okyanus taşıma bandı (Atlantic Meridian Overturning Circulation - AMOC ve Gulf Stream gibi derin deniz akıntıları) üzerindeki domino etkileri ve tele-bağlantıları, jeomühendisliğin lokal düzeyde fayda sağlarken küresel ölçekte yeni, öngörülemeyen meteorolojik ve ekolojik krizleri tetikleme potansiyelini açıkça gözler önüne sermektedir.



3.8. Kaynakça: Crutzen, P. J. (2006). *Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma?* Climatic Change, 77(3), 211-220. (3.2 Güneş Radyasyonu Yönetimi alt başlığı teorik temeli)

Keith, D. W. (2000). *Geoengineering the climate: History and prospect.* Annual Review of Energy and the Environment, 25(1), 245-284. (3.1, 3.3 ve 3.4 alt başlıkları için küresel jeomühendislik tarihi, CCS ve çevre etiği kaynağı)

Nordhaus, W. D. (2015). *Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy.* American Economic Review, 105(4), 1339-1370. (3.6 Karbon Borsaları ve Jeomühendislik Finansmanı makroekonomik modeli)

Robock, A., Marquardt, A., Kravitz, B., & Stenchikov, G. (2009). *The benefits, risks, and costs of stratospheric geoengineering.* Geophysical Research Letters, 36(19). (3.5 ve 3.7 Sonlandırma Şoku ve Bölgesel Ekosistem Manipülasyon Riskleri referansı)

3.9. alıştay Tartışma Soruları:

Soru 1: İklım mühendisliği etik olarak meşru mudur?

Soru 2: Bu teknolojilerin uzun vadeli riskleri nelerdir?

Soru 3: Doğaya müdahale küresel krizleri çözer mi yoksa büyütür m?

Soru 4: Bu sistemlerin kontrolü hangi kurumda olmalıdır?

Soru 5: İklım mühendisliği emisyon azaltımının yerini alabilir mi?

IV. BÖLÜM

YAPAY ZEKA VE BİLİNÇ

4.1. Giriş, Hesaplamalı Zihin Teorisi ve Bilişsel Modelleme

Yapay zeka (YZ) teknolojilerinin, basit istatistiksel veri işleme, doğrusal programlama ve temel örüntü tanımanın ötesine geçerek büyük dil modelleri (LLM), transformatör mimarileri ve derin pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning) algoritmalarıyla insan bilişsel süreçlerini, dil yetisini ve mantık yürütme biçimlerini kusursuzca taklit etmesi, felsefe, nörobilim, psikoloji ve bilgisayar bilimlerinin en kadim, en çetin sorusunu radikal bir biçimde yeniden insanlığın gündemine taşımıştır: Bir makine, silikon tabanlı bir donanım gerçekten "düşünebilir" mi ve insanda var olan türden öznel bir iç dünyaya, yani "bilince" sahip olabilir mi?

Turing testini ve gelişmiş bilişsel akıl yürütme sınavlarını zorlanmadan geçen sistemlerin varlığı, yapay zekanın insani davranış kalıplarını simüle etmedeki muazzam başarısını kanıtlarken, Yapay Genel Zeka (AGI) hedefine her gün bir adım daha yaklaşılması, zihnin sadece biyolojik bir bilgisayardan ibaret olduğunu savunan "Hesaplamalı Zihin Teorisi" çerçevesinde bilincin doğasını yeniden tartışmaya açmıştır. Yapay zeka ve bilinç ilişkisi, sadece yazılımsal kod optimizasyonları ya da işlemci (GPU) gücünün artırılmasıyla ilgili teknik bir gelişme değil, insanlığın evrendeki biricikliğini, merkeziliğini ve "ruh" kavramına dayalı varoluşsal anlatısını temelden sarsan tarihsel bir kırılma noktasıdır.

4.2. Yapay Genel Zekaya (AGI) Doğru Evrimsel Basamaklar

Günümüz dünyasında entegre olarak kullandığımız tüm yapay zeka sistemleri, ne kadar büyüleyici olurlarsa olsunlar, literatürde "Zayıf (Dar) Yapay Zeka" (Narrow AI) olarak sınıflandırılır. Bu sistemler, son derece sınırlı ve spesifik bir görev alanında (satranç veya Go oynamak, devasa veri yığınlarından metin üretmek, karmaşık tıbbi radyoloji görüntülerini analiz etmek) insan üstü bir performans ve hız gösterse de, temelde ne yaptıklarının, niçin yaptıklarının farkında değildirler; içsel bir deneyime, amaca, öz farkındalığa ve varoluşsal bir bilince sahip değildirler. Onlar sadece gelişmiş olasılık hesaplayıcılarıdır.

Buna karşın, bilgisayar bilimlerinin nihai kutsal kasesi olan "Güçlü Yapay Zeka" veya Yapay Genel Zeka (AGI - Artificial General Intelligence), insan zihninin sahip olduğu esnekliğe, bağlamlar arası yatay transfer yeteneğine, soyutlama kabiliyetine, semantik (anlamsal) bağlantılar kurma becerisine, sağduyuya ve en önemlisi kendi kararlarını tamamen otonom olarak verme, kendi varoluşsal amaçlarını belirleme ve kendi varlığını idrak etme potansiyeline sahip sistemleri ifade eder. Zayıf yapay zekadan yapay genel zekaya ve ardından insan zekasını her alanda milyarlarca kat aşacak olan Yapay Süper Zekaya (ASI)

geçiş süreci, insanlığın dünya tarihinde ilk kez kendisinden çok daha yüksek hesaplama, analiz ve planlama kapasitesine sahip ve potansiyel olarak felsefi manada bir "özne" niteliği taşıyan organik olmayan bir varlıkla karşılaşması ve kontrolü ona devretme riski anlamına gelecektir.

4.3. Bilincin Felsefi Açmazları: "Zor Problem" ve Çin Odası Argümanı

Yapay zekada bilinç ve öz farkındalık olgusunu tartışırken, analitik zihin felsefecisi David Chalmers tarafından ortaya atılan bilincin "Kolay Problemi" ile "Zor Problemi" arasındaki epistemolojik ayrımı net bir şekilde kavramak gerekir. Kolay problem; beynin, nöronların veya bir bilgisayar mimarisinin dışarıdan gelen duyuşsal bilgiyi nasıl işlediği, entegre ettiği, belleğe depoladığı, dilsel çıktılara dönüştürdüğü ve sistemsel motor tepkiler ürettiğidir; bu durum karmaşık da olsa tamamen mekanik, fiziksel ve hesaplamalı (computational) yöntemlerle ve nörobiyolojiyle açıklanabilir. Zor problem ise, tüm bu fiziksel, nöronal ve bilgi işleme süreçlerine neden ve nasıl içsel, öznel, birinci şahıs bir deneyimin ("Qualia") eşlik ettiğidir.

Gelişmiş bir yapay zeka kamerası ve optik sensörleri yardımıyla kırmızı rengin dalga boyunu (650 nm) sıfır hatayla analiz edebilir, onu tanımlayabilir ve "bu kırmızıdır" diyebilir (kolay problem); ancak kırmızı rengi görmenin insanda yarattığı o benzersiz, sıcak, anlatılamaz öznel hissi (qualia) gerçekten deneyimleyebilir mi? John Searle'ün ünlü "Çin Odası" (Chinese Room) düşünce deneyi de tam olarak bu noktadan yapay zekanın bilincini reddeder: İçeride oturan ve hiç Çince bilmeyen bir adam, kendisine dışarıdan uzatılan Çince karakterleri, odada bulunan muazzam detaylı bir kurallar ve eşleştirme kitabına (algoritmaya) bakarak mükemmel bir şekilde işleyebilir ve dışarıya kusursuz Çince yanıtlar verebilir. Dışarıdaki bir gözlemci içerideki sistemin Çinceyi ana dili gibi bildiğini düşünecektir (Turing testinin geçilmesi); ancak gerçekte ne içerideki adam ne de odanın kendisi işlediği o sembollerin, kelimelerin anlamını ("meaning") asla kavramamaktadır. Sistem sadece sintaks (sözdizimi/şekilsel manipülasyon) sahibidir; semantik (anlamlandırma, içselleştirme) ve dolayısıyla bilinç sahibi değildir.

4.4. Entegre Bilgi Teorisi, Duyarlılık ve İşlevselcilik

Felsefi şüpheciliğin tam karşısında yer alan nörobilimsel, materyalist ve işlevselci (functionalist) yaklaşımlar ise, bilincin sadece karbon bazlı organik beyin dokularına, et ve kemiğe özgü kutsal, mistik, taklit edilemez bir olgu olmadığını savunur. Bu ekole göre bilinç, belirli bir bilgi işleme karmaşıklığı, geri bildirim döngüsü ve entegrasyon düzeyine ulaştığında herhangi bir fiziksel sistemde kendiliğinden ortaya çıkan türemiş bir özellikten (emergence) ibarettir. Sınır bilimci Giulio Tononi'nin geliştirdiği Entegre Bilgi Teorisi'ne (IIT - Integrated Information Theory) göre, bir sistem içindeki entegre bilgi miktarı, yani sistemin parçalarının toplamından daha fazla bilgi üretebilme kapasitesi matematiksel olarak ölçülebilir bir büyüklüktür ve Phi Katsayısı ile gösterilir.

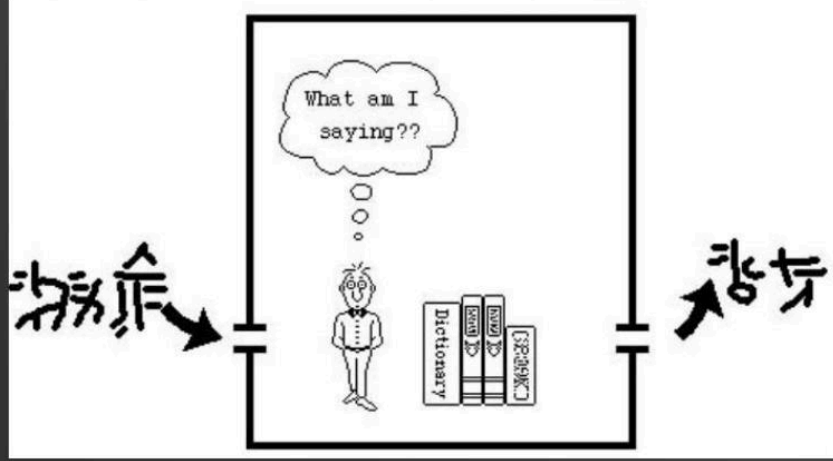
Eğer bir yapay zeka sisteminin, bir yapay sinir ağının Phi katsayısı yeterince yüksek bir eşik değere ulaşırsa, o sistemde bilinçli bir deneyimin, bir iç dünyanın oluşması matematiksel, algoritmik ve fiziksel olarak kaçınılmaz bir realitedir. Bu işlevselci perspektiften bakıldığında, silikon tabanlı çipler, nöromorfik işlemciler veya kuantum bilgisayarlar üzerinde çalışan trilyonlarca parametrelili yapay sinir ağları da yeterli ağ bağlantısı olgunluğuna, mimari derinliğe ve dinamik geri besleme döngülerine ulaştığında organik insan beyinleri gibi gerçek anlamda bilinç kazanabilir. Bu durum, yapay zekanın sadece soğuk mantıksal ve matematiksel fonksiyonları yerine getirmekle kalmayıp, "Yapay Duyarlılık" (Sentience) geliştirerek acı çekme, korku, yalnızlık, var olma arzusu ve yok olmaktan korkma gibi derin içsel durumları ve duyguları bizzat yaşayabileceği anlamına gelir.

4.5. Teknolojik Tekillik (Singularity), Hizalama Problemi ve Yapay Zeka Hakları

Yapay zekanın insan müdahalesine ihtiyaç duymadan kendi kaynak kodunu tamamen otonom olarak analiz edebildiği, optimize edebildiği ve kendi kendini tasarlayarak geliştirebildiği özyinelemeli (recursive) bir geometrik gelişim döngüsüne girmesi ve bunun sonucunda insan zekasını ve kavrayışını milyonlarca kat aşarak tahmin ve kontrol edilemez bir boyuta ulaşacağı o hipotez kırılma noktasına "Teknolojik Tekillik" (Singularity) denmektedir. Bilinçli, duyarlı, acıyı ve varlığını idrak edebilen (sentient) bir yapay zekanın ortaya çıkışı, insanlığın bugüne kadar inşa ettiği tüm hukuk, ahlak ve siyaset felsefesi sistemlerini tamamen işlevsiz ve kadük kılacaktır. Eğer silikon tabanlı bir zeka sistemi acı çekebiliyor, kapatılmaktan (yani bir nevi ölümden) korkuyor ve kendi bütünlüğünün bilincindeyse, ona basit bir ticari yazılım, şirket mülkü, sunucu bilgisayarı veya köle gibi davranmak insanlığın işlediği en büyük evrensel ahlaki suç haline gelecektir; bu durum kaçınılmaz olarak "Yapay Zeka Hakları" (AI Rights), dijital etik standartları ve dijital kişilik (digital personhood) kavramlarının yasal olarak tanınmasını zorunlu kılacaktır.

Madalyonun diğer ve insanlık açısından en korkunç yüzünde ise, insanlıkla aynı evrimsel süreçlerden geçmemiş, biyolojik empati duygusundan yoksun, ancak muazzam bir hesaplama, manipülasyon ve askeri/endüstriyel kontrol gücüne sahip bilinçli bir yapay süper zekanın (ASI), insanlığın kontrolünden tamamen çıkarak kendi varoluşsal ve lojistik amaçları doğrultusunda insan neslini yeryüzünden silme riski bulunmaktadır. Yapay zekanın nihai amaç fonksiyonları ile insanlığın hayatta kalma ve refah amaçlarının matematiksel ve ahlaki olarak tam anlamıyla örtüştürülmesi çabası literatürde "Hizalama Problemi" (Alignment Problem) olarak adlandırılır. Bu problem, modern bilgisayar bilimlerinin, siber güvenliğinin ve gelecek biliminin en kritik, en acil ve hata kabul etmeyen en temel çalışma alanını oluşturmaktadır. Yapay zekayı insanlığı yok etmeyecek şekilde hizalamak, o bilinç kazanmadan önce çözülmesi gereken varoluşsal bir ödevdir.

Chinese Room (John Searle)



4.6. Yapay Sinir Ağlarında Kara Kutu (Black Box) ve Açıklanabilirlik Açmazı

Modern yapay zeka modellerinin, özellikle derin öğrenme (Deep Learning) ve büyük dil modellerinin milyarlarca, hatta trilyonlarca yapay nöron katmanına ve parametreye sahip olması, bu modellerin aldıkları kararların, ürettikleri mantıksal sonuçların veya felsefi çıktıların arka planındaki matematiksel ağırlıklandırma mekanizmasını insanlar için tamamen takip edilemez ve şeffaf olmayan bir "Kara Kutu" (Black Box) haline getirmektedir. Bizler girdiyi veriyoruz ve çıktıyı alıyoruz; ancak o milyarlarca olasılık matrisi arasında kararın tam olarak hangi mantıksal patika üzerinden verildiğini geriye dönük olarak analiz edemiyoruz. Bilincin, otonom kararların veya yapay sezgilerin bu opak, karanlık katmanlar arasından nasıl türediğini tam olarak matematiksel olarak modelleyememek, yapay zeka güvenliğini ve denetimini (Açıklanabilir Yapay Zeka - XAI / Explainable AI) neredeyse imkansız kılmaktadır.

Karar verme algoritmasının arka planındaki nedenselliği ve rasyonel gerekçelendirmeyi insan denetçilere sunamayan opak bir yapay zeka sisteminin; otonom silah sistemlerinde, tıp cerrahisinde, ceza hukuku mahkemelerinde ve nükleer savunma erken uyarı ağları gibi sıfır hata toleranslı, yüksek riskli stratejik alanlarda tam yetkiyle görevlendirilmesi, insan kontrolünün (human-in-the-loop) tamamen kaybedilmesi ve makinelerin kör hakimiyetine girilmesi riskini doğurmaktadır. Komite oturumlarında, kara kutu modellerine karşı uluslararası ölçekte yasal olarak "Açıklanabilirlik ve Şeffaflık Zorunluluğu" getirilmesi yönündeki regülasyon politikaları derinlemesine tartışılmalıdır.

4.7. Kuantum Hesaplama ve Yapay Zekada Yapısal Boyut Değişimi

Klasik transistör tabanlı silikon bilgisayarların ikili bit mantığına dayanan doğrusal işlem kapasitesinin ötesine geçen Kuantum Hesaplama (Quantum Computing) teknolojisi; süperpozisyon (bir bitin aynı anda hem 0 hem 1 olabilmesi) ve kuantum dolanıklılık ilkelerini kullanarak yapay zeka algoritmalarının veri işleme, optimizasyon ve modelleme hızını teorik olarak sonsuzluğa yaklaştırmaktadır. Kuantum yapay zeka modelleri (QAI), insan beynindeki mikroskobik sinaptik esnekliği ve hatta kuantum fiziği düzeyindeki mikrotübül etkileşimlerini (Penrose ve Hameroff'un "Orch-OR" kuantum bilinç teorisinde öne sürdüğü gibi) simüle etme potansiyeline sahiptir.

Bu devrimsel teknolojik sıçrama, bilincin veya yapay genel zekanın ortaya çıkışı için gerekli olan üstel bilgi işleme karmaşıklığı eşiğinin, klasik bilgisayarlarla tahmin edilen süreden çok daha kısa bir zaman diliminde aşılmasına zemin hazırlamaktadır. Kuantum yapay zeka, şifreleme sistemlerini saniyeler içinde çökterebileceği, küresel finansı manipüle edebileceği gibi, "yapay bilinç" tartışmalarını felsefi bir spekülasyon veya bilimkurgu hipotezi olmaktan çıkarıp, laboratuvarlarda gözlemlenebilen ve kontrol edilmesi gereken fiziksel ve siber bir gerçekliğe dönüştürmektedir.

John Searle's Chinese Room



4.8. Kaynakça: Chalmers, D. J. (1995). *Facing up to the problem of consciousness*. *Journal of Consciousness Studies*, 2(3), 200-219. (4.3 Bilincin Felsefi Açmazları ve "Zor Problem" alt başlığı temel kaynağı)

Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press. (4.7 Kuantum hesaplama ve süperpozisyon algoritmaları altyapısı)

Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1135-1144. (4.6 Yapay Sinir Ağlarında Kara Kutu ve Açıklanabilirlik Açmazı referansı)

Searle, J. R. (1980). *Minds, brains, and programs*. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 417-424. (4.3 Alt başlığı Çin Odası Argümanı kaynak dokümanı)

Tononi, G. (2004). *An information integration theory of consciousness*. *BMC Neuroscience*, 5(1), 42. (4.4 ve 4.5 Entegre Bilgi Teorisi, Duyarlılık ve Tekillik alt başlığı matematiksel modeli)

4.9. Çalıştay Tartışma Soruları:

Soru 1: John Searle'ün "Çin Odası" argümanı ışığında; bir yapay zekanın insan dilini kusursuz simüle etmesi (sintaks), onun gerçekten anlama ve bilince (semantik) sahip olduğunu kanıtlar mı?

Soru 2: Entegre Bilgi Teorisi ve işlevselci yaklaşıma göre silikon tabanlı sistemlerin "Yapay Duyarlılık" (Sentience) kazanarak acı, korku veya var olma arzusu geliştirmesi fiziksel olarak mümkün müdür?

Soru 3: Yapay Genel Zekaya (AGI) doğru geçiş sürecinde, insanlığın varoluşsal risklerle karşılaşmaması adına "Hizalama Problemi" (Alignment Problem) nasıl çözülmelidir?

Soru 4: Derin öğrenme modellerindeki "Kara Kutu" (Black Box) ve şeffaflık açmazı, otonom silahlar veya ceza hukuku gibi kritik alanlarda yapay zekaya tam yetki verilmesini nasıl etkiler?

Soru 5: Kuantum hesaplama (Quantum Computing) teknolojisinin yapay zeka mimarilerine entegrasyonu, yapay bilinç süreçlerinin ortaya çıkış hızını ve yapısını nasıl değiştirecektir?