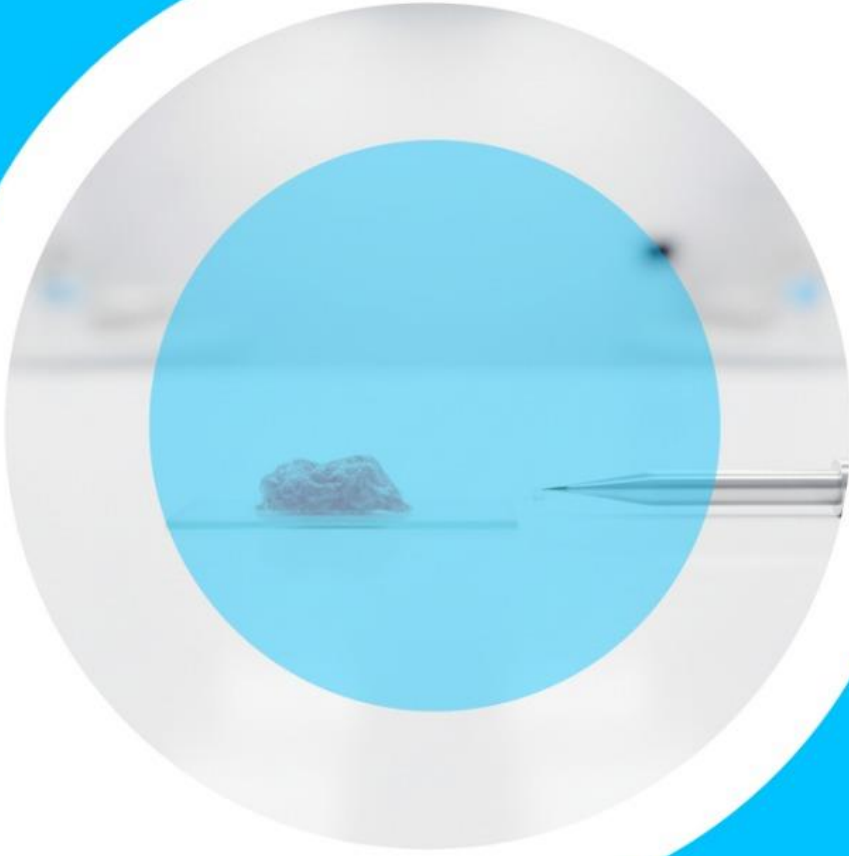


Laboratuvar dan Sofraya: Yapay Et





LABORATUVARDAN SOFRAYA: YAPAY ET



1882
KONYA TİCARET ODASI
KONYA CHAMBER OF COMMERCE



LABORATUVARDAN SOFRAYA: YAPAY ET

İmtiyaz Sahibi

Kalkınma Odaklı Stratejik Araştırmalar Merkezi adına
Lütfi Can BAŞARAN

Hazırlayanlar

Doç. Dr. Ali Samet BABAOĞLU
Özge ÖZER

Kapak

Nevzat PEKKARPUZ

Baskı Yeri, Yılı

Konya, 2025

E-ISBN

978-625-92621-2-3

KOSAM

Akabe Mah. Alaaddin Kap Cad.
No:130 42020 Karatay / Konya

www.kosam.org

KTO Karatay Üniversitesi Yayınları
Aralık 2025

Bu yayının tüm hakları KOSAM'a aittir. KOSAM'ın izni olmadan yayının tümünün veya bir kısmının elektronik veya mekanik (fotokopi, kayıt ve bilgi depolama vd.) yollarla basımı, yayımı, çoğaltılması veya dağıtımı yapılamaz. KTO Karatay Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenen bu çalışmadan, kaynak göstermek sureti ile alıntı yapılabilir.

ÖNSÖZ

Gıda sistemleri, günümüzde artan nüfus, iklim krizi, doğal kaynakların azalması ve sürdürülebilirlik baskılarıyla birlikte köklü bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu dönüşüm sürecinde, alternatif protein teknolojileri ve özellikle laboratuvar ortamında hücre temelli yöntemlerle geliştirilen yapay et, bilimsel, ekonomik, çevresel ve etik açılardan dikkat çeken yeni bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

Kalkınma Odaklı Stratejik Araştırmalar Merkezi (KOSAM) olarak yürüttüğümüz bu rapor çalışmasında, yapay et teknolojisini “her yönüyle” ele alarak gıda sektörünün geleceğinde karşılaşılabileceği fırsatları, riskleri ve politika gereksinimlerini kapsamlı biçimde değerlendirdik. Rapor; üretim teknolojilerinden ekonomik sürdürülebilirliğe, çevresel etkilerden etik ve toplumsal boyutlara, sağlık güvenliğinden regülasyon modellerine kadar pek çok başlığı bütüncül bir perspektifle analiz etmektedir.

Bu çalışma, yalnızca laboratuvar ortamında geliştirilen biyoteknolojik bir yeniliği tanıtmakla kalmayıp, aynı zamanda yapay etin gıda sistemlerinde yol açabileceği yapısal değişimleri, Türkiye’nin bu alandaki potansiyelini ve politika yapımcıların önünde bulunan seçenekleri de değerlendirmektedir. Bilimsel verilere, uluslararası regülasyon örneklerine ve güncel sektör dinamiklerine dayanan bu rapor, teknolojiyi savunmak ya da reddetmek yerine, mevcut veriler üzerinden çok boyutlu ve dengeli bir analiz sunmaktadır.

KOSAM olarak, küresel gıda güvenliğinin güçlendirilmesi, sürdürülebilir üretim modellerinin teşvik edilmesi ve etik duyarlılıklara dayalı bir kalkınma vizyonunun desteklenmesi yönündeki çalışmalarımıza devam ediyoruz. “Her Yönüyle Yapay Et” raporunun, akademi, kamu otoriteleri, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları için gıda teknolojilerindeki dönüşüm sürecine dair yol gösterici bir kaynak olacağına inanıyoruz.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
KISALTMALAR	vi
YÖNETİCİ ÖZETİ	1
GİRİŞ	7
1. YAPAY ETİN TEKNOLOJİK TEMELLERİ	9
1.1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	9
1.2. TARİHSEL GELİŞİM	13
1.3. ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	15
1.3.1. Hücre Kaynakları ve İzolasyon	16
1.3.2. Besi Ortamları ve Büyüme Faktörleri	16
1.3.3. İnkübatör Koşulları	17
1.3.4. Üretim Yaklaşımları	17
1.3.5. Biyoreaktör Sistemleri	18
1.3.6. 3D/4D Biyobaskı	19
1.3.7. Yeni Yaklaşımlar: Biyofotonik ve Nanoteknoloji	21
1.4. TEKNOLOJİK ZORLUKLAR	22
1.4.1. Hücre Seçimi ve Optimizasyonu	22
1.4.2. Besi Ortamı Bileşimi	23
1.4.3. Hücre Çoğaltma Stratejileri	23
1.4.4. İskele (Scaffold) Materyalleri	24
1.4.5. Hücre Farklılaşması	24
1.4.6. Ürün Kalitesi ve Duyusal Özellikler	25
2. EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENDÜSTRİYEL UYGULANABİLİRLİK	26
2.1. MALİYETLENDİRME VE ÖLÇEK EKONOMİSİ	26
2.2. YATIRIM TRENDLERİ VE KÜRESEL GİRİŞİMLER	27
2.3. TEDARİK ZİNCİRİ	30
2.4. İSTİHDAM VE KIRSAL EKONOMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLER	32
2.4.1. Fırsatlar	32
2.4.2. Tehditler	33
2.4.3. Farklı Aktörlerin Potansiyel Rollerini	34

3. ÇEVRESEL ETKİLER	37
3.1. SU VE ARAZİ KULLANIMI	37
3.2. KARBON AYAK İZİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	38
3.3. ENERJİ TÜKETİMİ VE KAYNAK VERİMLİLİĞİ	39
3.4. ATIK YÖNETİMİ VE ÇEVRESEL RİSKLER.....	39
3.5. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZLERİ VE KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMALAR	40
4. TÜKETİCİ ALGISI VE KÜLTÜREL KABUL	42
4.1. TÜKETİCİ PSİKOLOJİSİ VE ALGI FAKTÖRLERİ	42
4.2. KÜRESEL KABUL DÜZEYLERİ (ABD, AVRUPA, ASYA).....	43
4.3. TÜRKİYE’DE TÜKETİCİ EĞİLİMLERİ	44
4.4. KÜLTÜREL VE DİNİ FAKTÖRLERİN ETKİSİ	46
5. SAĞLIK VE GIDA GÜVENLİĞİ	49
5.1. BESLEYİCİLİK DEĞERİ VE SAĞLIK ETKİLERİ.....	49
5.2. POTANSİYEL RİSKLER VE BİYOGÜVENLİK	50
5.3. ULUSLARARASI GIDA GÜVENLİĞİ STANDARTLARI	52
5.4. TÜRKİYE İÇİN GIDA GÜVENLİĞİ PERSPEKTİFİ.....	55
6. ETİK VE SOSYOLOJİK BOYUT	56
6.1. HAYVAN REFAHI VE ETİK TARTIŞMALAR	56
6.2. DİNİ YAKLAŞIMLAR VE TOPLUMSAL KABUL	57
6.3. SOSYOLOJİK ETKİLER: GELENEKSEL BESLENME ALIŞKANLIKLARI	58
6.4. KAMUOYU TARTIŞMALARI VE MEDYA YANSIMALAR.....	59
7. POLİTİKA VE REGÜLASYON DİNAMİKLERİ	60
7.1. ULUSLARARASI REGÜLASYONLAR	60
7.2. ETİKETLEME VE TÜKETİCİ BİLGİLENDİRMESİ.....	63
7.3. TÜRKİYE’DE MEVCUT DURUM VE REGÜLASYON İHTİYACI	65
7.4. ULUSLARARASI İŞ BİRLİKLERİ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ?.....	66
SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKÇA	70

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Yapay Et Kavramı için Kullanılan Alternatif Adlandırmaların Sektörlere göre Dağılımı	11
Tablo 2. 2023'te Açılan ve İnşaatı Başlayan Yapay Et Tesisleri.....	29
Tablo 3. Yapay Et ve Geleneksel Etin Çevresel Göstergeler Açısından Karşılaştırılması	40
Tablo 4. Türkiye’de Yapay Et Tüketici Eğilimleri – Araştırmaların Karşılaştırması	46

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Akademik Araştırmalarda “Yapay Et” İçin Kullanılan Farklı Terimler.....	12
Şekil 2: Medyada “Yapay Et” İçin Kullanılan Farklı Terimler.....	13
Şekil 3: Yapay Et Üretiminde Temel İşlem Basamakları	15
Şekil 4: 3D/4D Biyoyazıcı Tekniğiyle Yapay Et Üretim Sürecinin Temel Aşamaları	20
Şekil 5: Aleph Farms ve Technion İş Birliği ile 3D Biyobaskı Kullanılarak Üretilen Dünyanın İlk Rib-Eye Bifteği.....	21

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

KISALTMALAR

DMEM : Dulbecco's Modified Eagle Medium

EGF : Epidermal Growth Factor

FBS : Fetal Bovine Serum (FBS)

FGF : Fibroblast Growth Factor

IGF : Insulin-like Growth Factor

VEGF : Vascular Endothelial Growth Factor

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

YÖNETİCİ ÖZETİ

Günümüz gıda sistemleri, hızla artan dünya nüfusu, iklim değişikliğinin yol açtığı çevresel krizler, doğal kaynakların aşırı kullanımı ve hayvan refahına yönelik etik duyarlılıklarla birlikte tarihsel bir dönüşüm sürecinin eşiğindedir. Bu dönüşüm, yalnızca üretim modellerini değil, aynı zamanda tüketim alışkanlıklarını, ekonomik yapılanmayı ve küresel politika önceliklerini de köklü biçimde etkilemektedir. Bu çerçevede, yapay et teknolojisi, gıda sistemlerinin geleceğine yön verebilecek nitelikte bir biyoteknolojik yenilik olarak dikkat çekmektedir.

Bu rapor, yapay et teknolojisini **bilimsel, ekonomik, çevresel, etik, kültürel ve politik** açılardan çok boyutlu biçimde ele almaktadır. Bu dönüşüm sürecinde “yapay et”, alternatif protein üretimi alanında öne çıkan biyoteknolojik yaklaşımlardan biri olarak tartışılmaktadır. Teknolojinin geliştirilmesi ve yaygınlaşması, yalnızca bilimsel yenilikler açısından değil; ekonomik, etik, sosyokültürel ve yönetsel karar süreçleri bakımından da çok boyutlu etkiler doğurmaktadır.

Laboratuvar ortamında hücre temelli yöntemlerle üretilen **yapay et**, canlı hayvan yetiştiriciliği veya kesimine dayanmayan bir üretim modelini ifade etmektedir. Hücrelerin laboratuvar koşullarında çoğaltılması ve kas dokusu benzeri bir yapıya dönüştürülmesi esasına dayanan bu yöntem, bitkisel ya da mikrobiyal alternatif proteinlerden teknik olarak farklılık göstermektedir. Ancak üretim ölçeği, maliyet düzeyi, enerji kullanımı, ürün kalitesi ve toplumsal kabul gibi faktörler, söz konusu teknolojinin endüstriyel uygulanabilirliği açısından temel belirleyiciler olmaya devam etmektedir.

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, yapay et sektörü son on yılda hızlı bir yatırım artışı yaşamıştır. Sadece 2013–2023 arasında sektöre üç milyar ABD dolarının üzerinde sermaye aktarılmıştır. Buna karşın üretim maliyetleri, geleneksel etle karşılaştırıldığında hâlen yüksek düzeydedir. Güncel tahminlere göre kilogram başına maliyet yaklaşık 60 ABD dolarıdır; maliyetlerin orta vadede 5–10 ABD doları bandına inmesi durumunda ölçek ekonomisi olanaklarının artabileceği öngörülmektedir. Üretim maliyetlerinin en yüksek kalemleri besi ortamı, biyoreaktör sistemleri ve nitelikli işgücü giderleridir. Bu tablo, teknolojinin ekonomik sürdürülebilirliğinin henüz kesinlik kazanmadığını ve maliyetlerin düşürülmesi için besi ortamı verimliliği, biyoreaktör teknolojisi ve üretim otomasyonu gibi unsurların belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

Çevresel etkiler, yapay etin gelecekteki sürdürülebilirlik potansiyelini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Geleneksel hayvancılık, yüksek sera gazı emisyonları, yoğun su ve arazi kullanımı, atık yönetimi sorunları ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki baskısı nedeniyle uzun

süredir eleştirilmektedir. Yapay et, bu çevresel yükleri azaltabilecek bir alternatif olarak öne çıkmaktadır; ancak mevcut literatür, çevresel performansın oldukça belirsiz ve senaryoya bağlı olduğunu göstermektedir.

Su kullanımı, yapay etin çevresel etkilerinde kritik bir göstergedir. Geleneksel sığır eti üretiminde sıkça dile getirilen “1 kg et için 15.000 litre su” ifadesi yanıltıcıdır; çünkü bu miktarın %95’i yağış ve evapotranspirasyon yoluyla doğal döngüde kullanılan “sanal su”dur. Fiilî tüketim miktarı 550–700 L/kg civarındadır. Tavuk ve domuz eti için bu değer sırasıyla 313 L/kg ve 459 L/kg olarak hesaplanmıştır. Yapay et üretimi için yapılan ilk modellemeler ise 367–521 L/kg arasında değişen bir su tüketimi öngörmektedir. Bu değer, sığır etiyle benzer seviyelerde olmakla birlikte tavuk ve domuz etinden daha yüksek bir su ayak izine işaret etmektedir.

Su miktarının yanı sıra **su kalitesi** ve **atık yönetimi** de kritik önemdedir. Yapay et üretiminde kullanılan kültür ortamları; amino asitler, vitaminler, büyüme faktörleri ve hormonlar gibi yüksek derecede işlenmiş bileşenler içerir. Bu bileşenlerin üretim süreçlerinden kaynaklanan kimyasal atıklar, su ekosistemleri için potansiyel riskler taşımaktadır. Özellikle farmasötik saflıkta üretim yapılan büyüme ortamlarında kullanılan solventler, antibiyotikler ve sentetik katkıları, atık suya karıştığında çevresel tehdit oluşturabilir.

Arazi kullanımı açısından yapay et, doğrudan hayvancılığa kıyasla daha az alan gerektirmektedir. Ancak geleneksel hayvancılığın yararlandığı otlaklar genellikle tarıma elverişli olmayan arazilerden oluşmakta ve hayvancılık bu alanlarda ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda arazi kullanımındaki avantaj, yalnızca hektar bazında değil; biyolojik çeşitlilik, karbon depolama ve kırsal kalkınma gibi ekosistem hizmetleri bağlamında bütüncül olarak ele alınmalıdır.

Yapay etin **sera gazı emisyonlarına** ilişkin literatürü oldukça değişkendir. Bazı çalışmalar, yapay etin sığır etine göre daha düşük CO₂ eşdeğeri emisyonuna sahip olabileceğini öne sürerken, bazıları yüksek enerji talebi nedeniyle yapay etin iklim etkisinin sığır ve tavuk etinden daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Yapay etin karbon ayak izi, kullanılan büyüme ortamına bağlı olarak 12–1.508 kg CO₂e/kg arasında değişebilmekte; bu, bazı senaryolarda sığır etinden %80 daha düşük, bazı senaryolarda ise 25 kat daha yüksek olabilmektedir.

Bu belirsizlikler, yaşam döngüsü analizlerinde büyüme faktörleri üretimi, kültür ortamı geri dönüşümü ve biyoreaktör temizliği gibi kritik adımların çoğu zaman dışarıda bırakılmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla yapay etin **karbon ayak izi** üzerine yapılan

çalışmalar, farklı varsayımlar ve metodolojik sınırlamalar nedeniyle çeşitlilik göstermektedir.

Yapay et üretiminin en büyük çevresel yükü, **yüksek enerji tüketiminden** kaynaklanmaktadır. Hücrelerin biyoreaktörlerde çoğaltılması, sıcaklık kontrolü, sterilizasyon ve kültür ortamı üretimi yoğun enerji gerektirir. Senaryolara göre enerji tüketimi 14–1.706 MJ/kg arasında değişmektedir. Kullanılan enerji kaynağı (fosil veya yenilenebilir) ise karbon ayak izi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından belirleyici bir faktördür; örneğin yenilenebilir enerji kullanımı karbon ayak izini beş kata kadar azaltabilmektedir.

Kültür ortamlarında kullanılan bileşenler ve büyüme faktörlerinin üretim süreçlerinden kaynaklanan **atıklar** çevresel riskler oluşturabilir. Antibiyotik içeren ortamların kullanımı çevresel etkiyi 100 kata kadar artırabilir. Ayrıca, biyoreaktör sterilizasyonunda kullanılan kimyasallar ve tek kullanımlık torbaların plastik atıkları da çevresel yük oluşturmaktadır. Bu nedenle atıkların güvenli bertarafı veya geri dönüşümü, yapay etin çevresel sürdürülebilirliği açısından kritik önemdedir.

Mevcut yaşam döngüsü analizleri, yapay etin su, arazi, enerji tüketimi ve karbon ayak izi açısından geleneksel etlerle karşılaştırıldığında senaryoya bağlı olarak **hem avantaj hem de dezavantaj** gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak büyüme ortamının niteliği, enerji kaynağı ve üretim ölçeği gibi faktörler kritik belirleyicilerdir. Eğer üretim süreçleri yenilenebilir enerji ile desteklenirse ve gıda kalitesinde uygun büyüme ortamları kullanılırsa, yapay etin sığır etine göre çevresel avantaj sağlayabileceği öngörülmektedir. Öte yandan, farmasötik saflıkta büyüme ortamı kullanılan senaryolarda çevresel etkiler sığır etinden daha yüksek olabilmektedir.

Yapay etin tüketici nezdindeki kabulü, yalnızca teknolojik veya ekonomik faktörlerle değil, **derin kültürel ve dinî dinamiklerle** de şekillenmektedir. Gıda, biyolojik bir ihtiyaç olmanın ötesinde toplumsal ritüeller, kültürel kimlikler ve dini değerlerle sıkı bir ilişki içindedir; bu nedenle yapay et, bazı tüketiciler tarafından sürdürülebilir ve etik bir alternatif olarak görülürken, diğer bir kesim tarafından “doğallıktan uzak, yapay ve güvenilmez” bir ürün olarak algılanmaktadır. Küresel araştırmalar, tüketicilerin çoğunun ürünü denemeye istekli olduğunu, ancak düzenli tüketimde temkinli davrandığını göstermektedir. Genç kuşaklar, eğitilmiş ve şehirli bireyler daha olumlu yaklaşırken, ileri yaş grupları ve muhafazakâr kesimlerde şüpheli bir tutum gözlemlenmektedir. Tat, fiyat, sağlık, hijyen ve doğallık algısı gibi unsurlar, tüketici niyetini belirleyen kritik etkenlerdir; laboratuvar çağrışımları ve “**Frankenfood**” söylemleri gibi olumsuz algılar kabulü sınırlamaktadır.

Kültürel bağlamda, yapay etin geleneksel yemek pratiklerine ve toplumsal ritüellere uyumsuzluğu, özellikle **Türk mutfağında güçlü bir bariyer** oluşturmaktadır. Dinî perspektifler de belirleyicidir; Müslüman ve Yahudi tüketiciler hücre kaynağı, üretim süreci ve **helal/koşer uyumluluğu** açısından ürünü değerlendirirken, Hindu ve Budist topluluklarda etik ve ahimsa ilkeleri ön plana çıkmaktadır.

Türkiye özelinde yapılan araştırmalar, tüketicilerin büyük kısmının yapay eti doğallık, güvenlik ve dinî uygunluk açısından temkinli değerlendirdiğini; merak ve etik-fayda algısına rağmen düzenli tüketim isteğinin düşük kaldığını göstermektedir. Bu bağlamda, yapay etin yaygın kabul görmesi için yalnızca ekonomik ve teknolojik argümanlarla değil, kültürel değerler ve dinî hassasiyetlerle uyumlu, güven tesis eden iletişim stratejilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Yapay etin yaygınlaşmasında **sağlık ve gıda güvenliği** kritik bir belirleyicidir. Kontrollü laboratuvar süreçleri sayesinde patojen kaynaklı kontaminasyon riski azalırken, vitamin ve mineral eksiklikleri, olası alerjenite, toksisite ve uzun dönem sağlık etkilerinin belirsizliği hâlen önemli riskler olarak öne çıkmaktadır. Üretimde kullanılan hücre kültürü ortamları, iskele materyalleri, antibiyotik ve kimyasal indükleyiciler, nihai üründe kalıntı bırakma potansiyeline sahiptir; mikrobiyolojik kontaminasyon ve genetik stabilite belirsizlikleri de güvenlik değerlendirmesinde dikkate alınmalıdır.

Uluslararası düzeyde Singapur, ABD, AB, Kanada, Avustralya ve İsrail gibi ülkeler, yapay eti “**novel food**” kategorisinde düzenleyerek pre-market risk değerlendirmesi, üretim denetimi ve etiketleme zorunlulukları ile güvenliği sağlamaya çalışmaktadır. Türkiye’de ise mevzuat hâlen gelişmekte olup, ürünlerin hukuki statüsü ve güvenlik çerçevesi belirsizdir; bu nedenle uluslararası örneklerden uyarlanmış, ülkeye özgü risk değerlendirme ve denetim mekanizmalarının oluşturulması hem tüketici sağlığını koruyacak hem de teknolojinin güvenli şekilde gelişimine olanak sağlayacaktır.

Yapay et, **etik, dinî ve sosyolojik** açılardan da değerlendirilmesi gereken bir olgudur. Hayvan refahı açısından, kesime dayalı hayvancılığın yol açtığı acı ve stresi azaltma potansiyeli, yapay eti etik bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır; buna karşın üretimde hâlen hayvansal kökenli unsurlar kullanılması, bu avantajı kısmen sınırlamaktadır. Dinî perspektifte ise yapay etin helal, koşer veya diğer inanç sistemleri açısından kabul edilebilirliği, hücre kaynağı ve üretim sürecinin şeffaflığı ile doğrudan ilişkilidir.

Sosyolojik boyutta, etin geleneksel beslenme alışkanlıkları, kültürel ritüeller ve toplumsal sembolik anlamları, yapay etin toplumsal kabulünü etkileyen kritik faktörlerdir. Türkiye bağlamında Kurban Bayramı gibi ritüeller ve misafirperverlik kültürü, kabulü

zorlaştırabilecek unsurlardır. Kamuoyunda ve medyada ise **yapay et algısı**, doğallık ve sağlık tartışmaları çerçevesinde şekillenmekte; olumlu ve olumsuz tutumlar arasında bölünmüş bir tablo ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yapay etin toplumsal kabulü, etik faydaların yanı sıra kültürel, dinî ve iletişim boyutlarının bütüncül biçimde ele alınmasına bağlıdır.

Yapay etin geleceği, ulusal ve uluslararası düzeyde şekillenen regülasyon mekanizmaları ve politika tercihleri ile doğrudan ilişkilidir. Avrupa Birliği, Singapur, ABD, İsrail ve Japonya gibi ülkeler, ürünlerin güvenlik değerlendirmeleri, hukuki statüleri ve ulusal stratejilerle entegrasyonu üzerinden yapay etin ticarileşmesini ve toplumsal kabulünü belirlemektedir. Etiketleme, tüketici bilgilendirmesi ve terminoloji farklılıkları hem kültürel ve dini hassasiyetler hem de geleneksel hayvancılık sektörünün etkisi nedeniyle kritik politika alanları olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye’de ise henüz özel bir yasal düzenleme bulunmamaktadır; ürünün hukuki tanımı, güvenlik denetimleri ve helal sertifikasyonu gibi boyutlar ulusal mevzuatta netlik kazanmamıştır. Uluslararası deneyimler, yapay etin yalnızca ulusal regülasyonlarla değil, ülkeler arası iş birlikleri ve küresel standartlarla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. COP28 gibi platformlarda alternatif proteinlerin iklim hedefleriyle uyumlu gelişimi vurgulanmakta; FAO ve WHO tarafından güvenlik ve terminoloji standartları önerilmekte; ülkeler arası Ar-Ge iş birlikleri, teknoloji transferi ve küresel araştırma ekosistemleri, yapay etin sürdürülebilir, güvenli ve toplumsal olarak kabul edilebilir bir şekilde geliştirilmesinde belirleyici rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, yapay et teknolojisinin geleceği, yalnızca teknolojik gelişmelerle değil; ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel performans, sağlık ve beslenme güvenliği, toplumsal kabul, kültürel ve dinî değerler ile regülasyon kapasitesine bağlı olarak şekillenecektir. Bu nedenle Türkiye açısından önerilen stratejik yaklaşım, çok boyutlu ve entegre bir çerçeveye dayanmalıdır: Öncelikle biyoteknoloji ve gıda mühendisliği alanlarında Ar-Ge yatırımlarının artırılması, yerli bilgi üretimi ve teknik uzmanlığın geliştirilmesi kritik bir gerekliliktir. Üretim süreçlerinde enerji verimliliği, atık yönetimi ve sürdürülebilir su kullanımı gibi çevresel boyutların optimizasyonu, teknolojinin hem ekolojik hem de ekonomik olarak uygulanabilirliğini artıracaktır. Sağlık ve besin güvenliği açısından bağımsız toksikolojik testler, klinik çalışmalar ve uzun dönem izlem programlarının yürütülmesi, tüketici güveninin tesisinde temel öncelik olmalıdır.

Toplumsal kabulün artırılması için açık ve güvenilir iletişim stratejileri geliştirilerek, dinî ve kültürel hassasiyetler gözetilmelidir; helal, koşer veya etik sertifikasyon mekanizmalarının şeffaflığı toplumda güven oluşturacaktır. Hukuki ve düzenleyici boyutta ise yapay etin açık

bir şekilde tanımlanması, risk temelli denetim sistemlerinin oluşturulması ve uluslararası standartlara uyumun sağlanması önceliklendirilmelidir. Bu çerçevede ulusal ve uluslararası Ar-Ge iş birlikleri, bilgi paylaşımı ve sertifikasyon ağlarına katılım, teknolojinin güvenli, sürdürülebilir ve kabul edilebilir bir biçimde geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Nihayetinde bu çok boyutlu strateji, yapay etin potansiyel faydalarının en üst düzeye çıkarılmasını, risklerinin minimize edilmesini ve Türkiye'nin hem küresel gıda sistemlerinde hem de biyoteknoloji alanında rekabetçi ve stratejik bir konum kazanmasını mümkün kılacaktır.

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

GİRİŞ

Küresel ölçekte günümüzün en kritik meselelerinden biri, hızla artan dünya nüfusunu sınırlı doğal kaynaklarla besleyebilmektir. Dünya genelinde gıda sistemleri, iklim değişikliği, su ve arazi kıtlığı, biyolojik çeşitlilik kaybı ve hayvan refahına yönelik toplumsal duyarlılık gibi çok boyutlu baskılarla karşı karşıyadır. Bu koşullar, geleneksel hayvansal üretim sistemlerinin uzun vadede sürdürülebilirliğini tartışmaya açmakta; alternatif protein kaynakları ve biyoteknolojik çözümler ise gıda endüstrisinin geleceğinde potansiyel bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Son yıllarda bu tartışmaların merkezine yerleşen en önemli yeniliklerden biri, laboratuvar ortamında hücre temelli yöntemlerle üretilen “yapay et” teknolojisidir. Yapay et, yalnızca bir gıda inovasyonu değil; aynı zamanda ekonomik, çevresel, etik ve kültürel boyutlarıyla küresel gıda sistemlerinde köklü değişimlere yol açabilecek potansiyele sahip bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, yapay etin bilimsel temellerini, endüstriyel uygulanabilirliğini ve toplumsal yansımalarını çok boyutlu bir çerçevede incelemek, bilimsel çevrelerden kamu otoritelerine, özel sektörden tüketicilere kadar geniş bir kesim için stratejik bir önem taşımaktadır.

Yapay etin laboratuvardan sofraya uzanan yolculuğunu kapsamlı biçimde ele almayı amaçlayan bu çalışma, üretim teknolojilerinden ekonomik sürdürülebilirliğe, çevresel etkilerden tüketici algısına, etik tartışmalardan regülasyon süreçlerine kadar geniş bir yelpazede değerlendirmeler sunmaktadır. Böylelikle yalnızca biyoteknolojik bir yeniliği tanıtmakla kalmamakta; aynı zamanda yapay etin gıda sistemleri üzerindeki dönüştürücü etkilerini, Türkiye’nin stratejik konumunu da dikkate alarak analiz etmektedir.

Bu çerçevede rapor, yapay etin üretim süreçlerinin geleneksel hayvansal üretimle karşılaştırıldığında ne ölçüde teknik ve ekonomik olarak sürdürülebilir olduğunu, bu teknolojinin gıda arz-talep dengesi ve tedarik zincirleri üzerindeki olası etkilerini, tüketici algısı ve kültürel kabul düzeylerinin nasıl şekillendiğini, üretim ve tüketim süreçlerinin çevresel etkiler bakımından gerçekten daha avantajlı olup olmadığını, hayvan refahı ve biyoteknolojik müdahale etiği bağlamında ortaya çıkan toplumsal tepkileri ve nihayetinde mevcut gıda politikaları ile düzenleyici çerçeveler açısından doğurabileceği yenilik ve zorlukları ele almaktadır.

Çalışmanın yöntemsel çerçevesi, güncel bilimsel literatür, uluslararası kurum raporları, yatırım ve pazar verileri, regülasyon belgeleri ve kamuoyu araştırmalarına dayalı çok disiplinli bir analiz yaklaşımına dayanmaktadır. Bu sayede rapor, yalnızca teknik bir

inovasyonu tanıtmakla kalmayacak; aynı zamanda yapay etin farklı boyutlarını bütüncül bir perspektifle değerlendirme imkânı sunacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın amacı, yapay et teknolojisini laboratuvardan sofraya uzanan tüm boyutlarıyla ele almak; bilimsel, ekonomik, çevresel, etik ve politik açılardan kapsamlı bir değerlendirme sunarak, akademiye, politika yapıcılara ve sektörel aktörlere yol gösterici bir çerçeve oluşturmaktır.

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

1. YAPAY ETİN TEKNOLOJİK TEMELLERİ

Küresel gıda sistemlerinde artan nüfus, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik baskıları, geleneksel hayvansal üretim modellerinin geleceğini tartışmaya açmıştır (FAO, 2021; Shukla ve ark., 2022). Bu bağlamda, alternatif protein kaynakları giderek daha fazla gündeme gelmektedir. Bitki bazlı proteinler, mikrobiyal proteinler, böcek bazlı ürünler ve hücre temelli et üretimi, bu arayışın farklı teknolojik platformlarını oluşturmaktadır (GFI, 2023). Her bir yaklaşım, gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve hayvan refahı açısından farklı avantajlar ve sınırlılıklar barındırmaktadır (GFI, 2023).

Bu geniş yelpaze içinde özellikle et analogları ve yapay et kavramları öne çıkmaktadır. Et analogları, bitki bazlı veya mikrobiyal kaynaklı proteinlerin işlenmesiyle elde edilen ve geleneksel ete benzer tat, doku ve besin değerleri sunmayı hedefleyen ürünleri ifade ederken (Zahari ve ark., 2022); yapay et (hücre temelli et), doğrudan hayvan hücrelerinin laboratuvar ortamında çoğaltılmasıyla üretilmektedir (Chen ve ark., 2022). Bu iki yaklaşım hem kavramsal hem de teknolojik açıdan farklılıklar taşımakta; aynı zamanda tüketici algısı ve kültürel kabul düzeyleri bakımından da farklı tartışmalara konu olmaktadır.

Bu nedenle, yapay etin teknolojik temellerini ele almadan önce kavramsal çerçevenin açıklığa kavuşturulması önemlidir. Ardından yapay etin tarihsel gelişimi, üretim yöntemleri ve teknik zorlukları değerlendirilecektir.

1.1. Kavramsal Çerçeve

Yapay et, alternatif proteinler yelpazesi içinde kendine özgü bir konuma sahiptir. Günümüzde gıda araştırmacıları, geleneksel hayvansal üretime alternatif olarak iki ana yaklaşımı incelemektedir: bitki bazlı et analogları ve yapay et (He ve ark., 2020). Bunun yanı sıra, mikroalgler, mikrobiyal fermantasyon ürünleri ve böcek bazlı proteinler de alternatif protein kaynakları arasında değerlendirilmektedir (Sha ve Xiong, 2020). Ancak bu yaklaşımlar, üretim yöntemleri ve toplumsal algı açısından yapay etten önemli ölçüde farklıdır.

Bitki bazlı et analogları, soya veya bezelye gibi bitkisel proteinlerin işlenmesiyle elde edilmekte ve geleneksel ete benzer tat ve doku sunmayı hedeflemektedir. Mikroalgler (ör. Spirulina, Chlorella) ve mikrobiyal proteinler, yüksek protein içerikleri ve sürdürülebilirlik avantajlarıyla dikkat çekmektedir (Bernaerts ve ark., 2019; Fu ve ark., 2021). Böcek bazlı proteinler ise yüksek besleyicilik değerleri ve düşük çevresel etkileriyle öne çıkmakla birlikte, kültürel kabul düzeyi açısından sınırlı kalmaktadır (House, 2016; Wood ve Tavan, 2022).

Bu alternatiflerin ortak noktası, hayvan hücresi kullanılmadan üretilmeleridir. Oysa yapay et (hücre temelli et), doğrudan hayvan hücrelerinin laboratuvar ortamında çoğaltılmasıyla elde edilmektedir. Bu süreçte, hayvandan alınan bir biyopsi örneğinden elde edilen kök hücreler, uygun bir besi ortamında çoğaltılmakta; ardından kas hücrelerine farklılaştırılarak doku mühendisliği teknikleriyle et benzeri bir yapı oluşturulmaktadır (Bonny ve ark., 2017). Bu yönüyle yapay et, diğer alternatif proteinlerden ayrılmakta ve geleneksel etin biyolojik temellerini koruyan tek yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Bununla birlikte, yapay etin kavramsal çerçevesi hâlen tartışmalıdır. Literatürde ve medyada yapay et için farklı terimler kullanılmaktadır: kültürlenmiş et (cultured meat), hücre temelli et (cell-based meat), in vitro et (in vitro meat), temiz et (clean meat), laboratuvarda üretilmiş et (lab-grown meat) ve yetiştirilmiş et (cultivated meat) bunlardan bazılarıdır. Yapay et ile ilgili bu kavramların kullanım sıklığı ve tercih edildiği bağlamlar farklılık göstermektedir (bkz. Tablo 1). Tablo 1’de görüldüğü üzere, ‘hücre temelli et (cell-based)’ ve ‘kültürlenmiş et (cultured)’ terimleri hem akademide hem de sanayi ve medya alanında en yaygın kullanılan ifadeler arasında yer almaktadır.

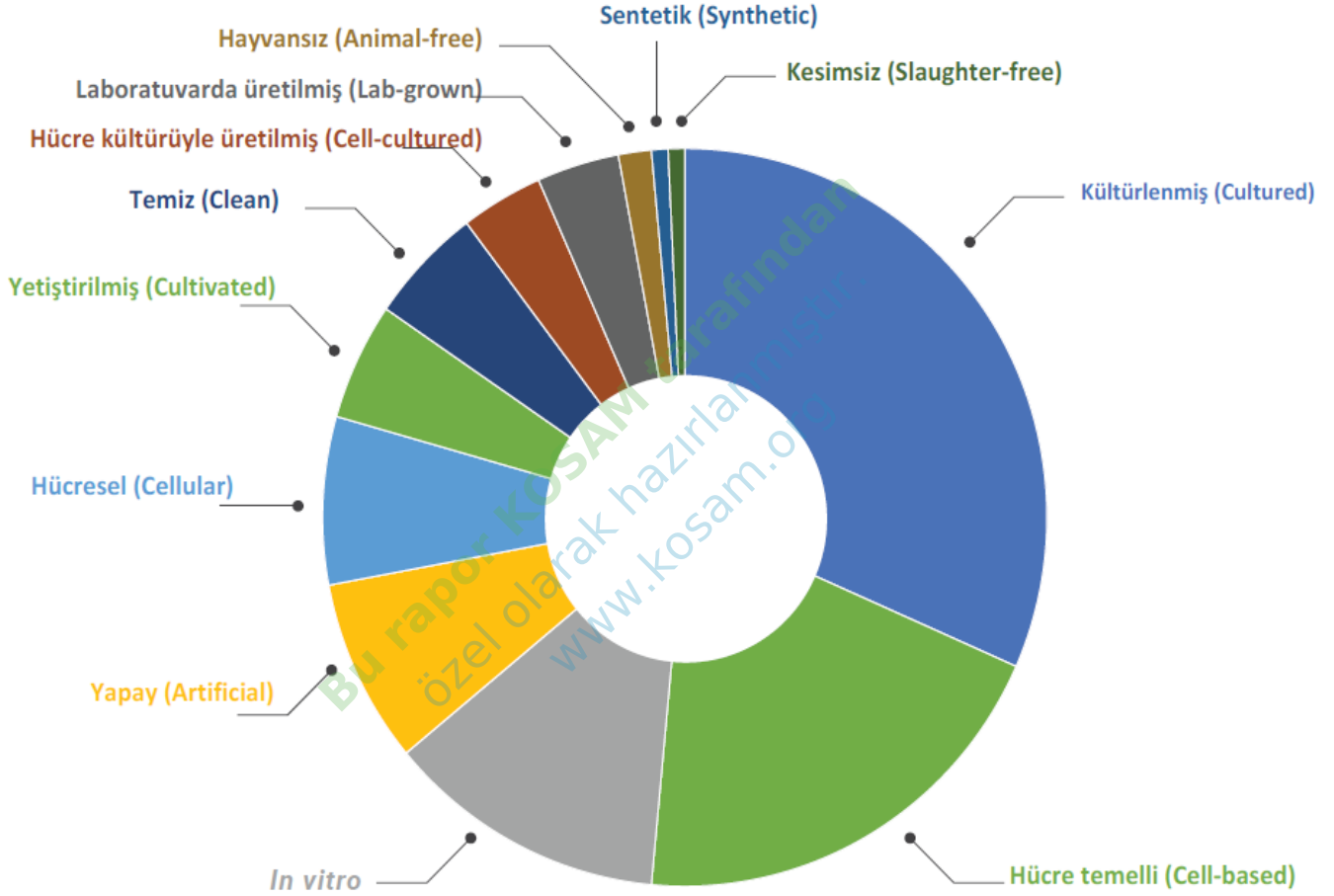
Bu terminolojik çeşitlilik yalnızca akademik bir mesele değil; aynı zamanda tüketici algısı, pazarlama stratejileri ve regülasyon süreçleri açısından da kritik bir öneme sahiptir. Örneğin, “temiz et (clean meat)” ifadesi bazı tüketicilerde olumlu çağrışımlar sağlarken, “yapay et (artificial meat)” veya “sentetik et (synthetic meat)” gibi terimler olumsuz algılanabilmektedir (Bryant ve Barnett, 2019).

Tablo 1. Yapay Et Kavramı için Kullanılan Alternatif Adlandırmaların Sektörlere göre Dağılımı

Terminoloji [Türkçe (İngilizce)] *	Otoriteler (Authorities)	Endüstri ve Ar-Ge Geliştiricileri (Industry & Developers)	Akademi (Academia)	Medya (Media)
Hayvansız (Animal-free)			✓	✓
Yapay (Artificial)			✓	✓
Hücre temelli (Cell-based)	✓	✓	✓	✓
Hücreyle yetiştirilmiş (Cell-cultivated)**	✓	✓	✓	✓
Hücre kültürüyle üretilmiş (Cell-cultured)	✓	✓	✓	✓
Hücresel (Cellular)			✓	✓
Temiz (Clean)	✓		✓	✓
Hayvanlara eziyet içermeyen et (Cruelty-free)				✓
Yetiştirilmiş (Cultivated)	✓	✓	✓	✓
Kültürlenmiş (Cultured)	✓	✓	✓	✓
Sahte (Fake)				✓
Frankenstein (Frankenmeat)				✓
Sağlıklı (Healthy)		✓		✓
Taklit (Imitation)				✓
İn vitro			✓	✓
Laboratuvarda üretilmiş (Lab-grown)			✓	✓
Üretilmiş et (Made)				✓
Et 2.0 (Meat 2.0) *				✓
Kesimsiz (Slaughter-free)				✓
Sentetik (Synthetic)				✓
Test tüpü (Test tube)				✓
Reaktörde yetiştirilmiş (Vat-grown)				✓

(FAO ve WHO, 2023) *Bilimsel makaleler, literatür ve medya taramasından elde edilen verilere dayanmaktadır. **Hallman, W. K., Hallman, W. K. II, & Hallman, E. E. (2021). *Cell-Based, Cell-Cultured, Cell-Cultivated, Cultured, or Cultivated: What is the best name for meat, poultry, and seafood made from the cells of animals?* <https://www.biorxiv.org>. ***"Et 2.0 (Meat 2.0)" terimi, yalnızca "hücre temelli (cell-based)" eti değil, aynı zamanda bitki bazlı (plant-based) ve mikrobiyal (microbe-based) et ikamelerini de kapsamak için kullanılmaktadır.

Bilimsel literatürde yapay et için kullanılan terminolojilerde bir standart bulunmamaktadır. 2013–2022 yılları arasında yayımlanan 144 makale incelendiğinde, en sık kullanılan terimlerin *kültürlenmiş et (cultured)* (N=43) ve *hücre temelli et (cell-based)* (N=27) olduğu görülmektedir. Bunları *in vitro et (in vitro)* (N=17), *yapay et (artificial)* (N=11) ve *hücresel et (cellular)* (N=10) takip etmektedir. Diğer terimler ise daha sınırlı düzeyde kullanılmaktadır (Şekil 1) (FAO ve WHO, 2023).

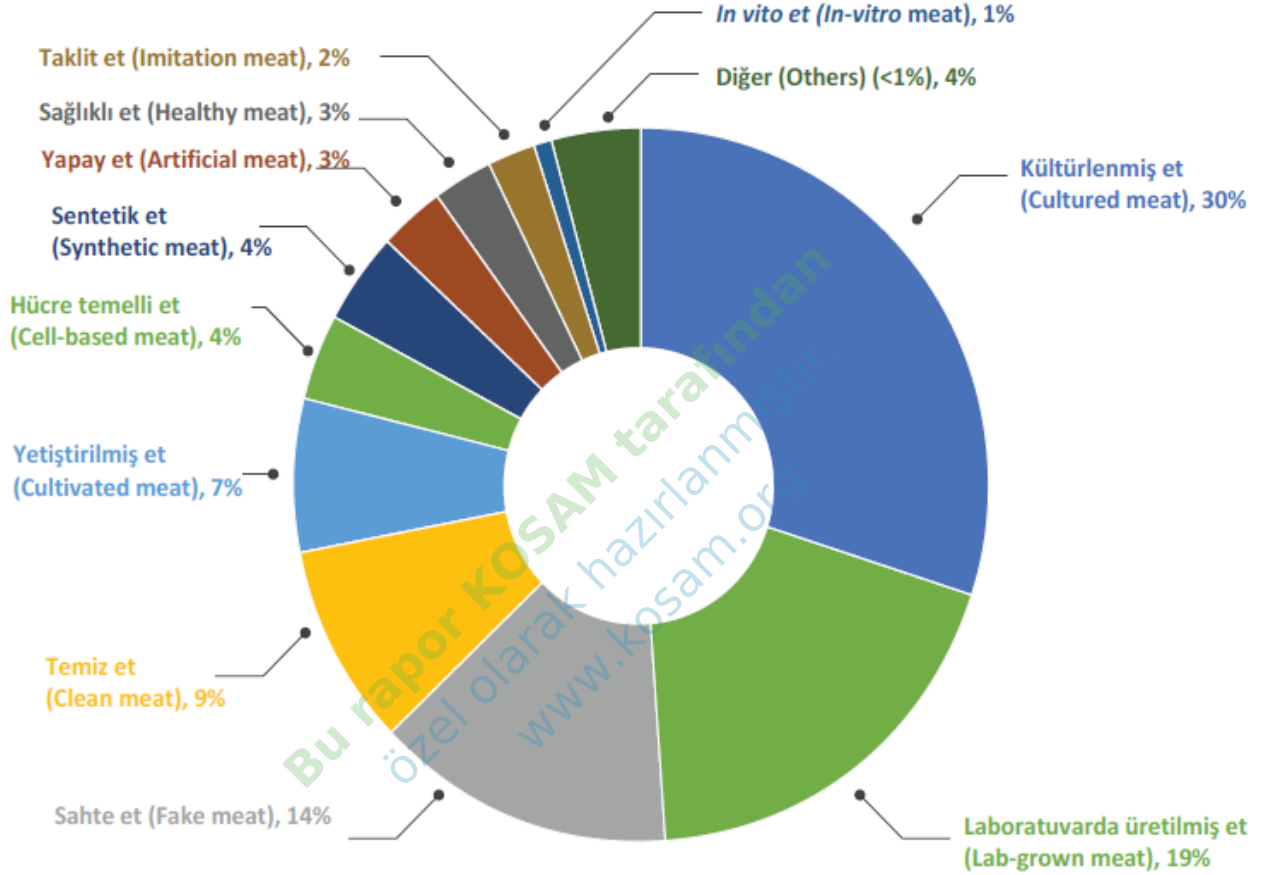


Şekil 1: Akademik Araştırmalarda ‘Yapay Et’ İçin Kullanılan Farklı Terimler

(2013–2022 yılları arasında yayımlanan 144 bilimsel makale temel alınmıştır)

Medyada ‘‘hücre temelli et (cell-based meat)’’ için kullanılan terminolojiler de zaman içerisinde değişim göstermiştir. News on the Web (NOW) Corpus veritabanı (Davies, 2016) aracılığıyla 2010–2021 yılları arasında yapılan taramalara göre, bu dönemde medyada hücre temelli et ile ilgili haberlerin sayısı belirgin biçimde artmıştır. Ayrıca, medyada bu ürünleri tanımlamak için çok çeşitli eşanlamlı terimlerin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2; bkz. Tablo 1). En sık kullanılan terimler arasında kültürlenmiş et (cultured) (%30),

laboratuvarda üretilmiş et (lab-grown) (%19), sahte et (fake meat) (%14) ve temiz et (clean meat) (%9) yer almaktadır. Bununla birlikte, kullanılan terminolojiler zamanla değişmiştir. İlk yıllarda *in vitro*, *cultured* veya *clean* gibi terimler daha yaygınken, son yıllarda yetiştirilmiş et (cultivated) ve hücre temelli et (cell-based) gibi ifadelerin daha sık tercih edildiği görülmektedir (Southey, 2021).



Şekil 2: Medyada “Yapay Et” İçin Kullanılan Farklı Terimler

(2010–2021 yılları arasında News on the Web Corpus verilerine dayalı)(FAO ve WHO, 2023).

Ülkemizde ise literatürde genellikle “yapay et” ifadesi kullanılmakta, ancak bu terim olumsuz çağrışımlara neden olabilmektedir. Bu nedenle ‘hücre temelli et’ veya ‘kùltürlenmiş et’ ifadelerinin daha uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

1.2. Tarihsel Gelişim

Yapay et, günümüzde gıda endüstrisinin en dikkat çekici yeniliklerinden biri olarak öne çıksa da bu alandaki fikir ve deneysel çalışmaların kökeni oldukça eskilere dayanmaktadır. 20. yüzyılın başlarında Fransız bilim insanı Alexis Carrel, 1912 yılında bir Petri kabında embriyonik civciv kalp kası dokusunu canlı tutmayı başarmış ve bu dokunun uzun süre

büyümeye devam ettiğini göstermiştir (Bhat ve ark., 2015). Bu deney, hücrelerin laboratuvar ortamında yaşatılabileceğini ortaya koyarak ileride yapay et araştırmalarına ilham veren ilk adımlardan biri olmuştur.

Yapay et fikri yalnızca bilimsel deneylerle değil, aynı zamanda düşünsel öngörülerle de gündeme gelmiştir. Winston Churchill, 1932’de yayımlanan *Fifty Years Hence* adlı eserinde, gelecekte bütün bir hayvanı yetiştirmek yerine yalnızca ihtiyaç duyulan parçaların laboratuvar ortamında üretileceğini öngörmüştür. Benzer şekilde, İngiliz siyasetçi Frederick Edwin Smith (Birkenhead Kontu) de, bir danayı yetiştirmek yerine doğrudan istenilen miktarda bifteğin üretilebileceğini dile getirmiştir (Bhat ve ark., 2015; Ford, 2010). Bu öngörüler, yapay etin yalnızca bilimsel değil, aynı zamanda toplumsal hayal gücünde de yer bulunduğunu göstermektedir.

1950’lerde Hollandalı araştırmacı Willem van Eelen, doku kültürü kullanarak et üretme fikrini ortaya atmış, ancak bu düşünce 1999 yılında patentle resmileşmiştir (Bhat ve ark., 2015). 2000’li yıllarda ise daha somut deneysel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Catts and Zurr (2002), kurbağa kas dokularını kültür ortamında büyütmeyi başarmış; Benjaminson ve ark. (2002) ise altın balık (*Carassius auratus*) kas dokularını kültüre ederek, uzun süreli uzay yolculuklarında gıda üretimi için yapay etin potansiyelini araştırmıştır. Bu deneylerde elde edilen kas dokuları pişirilerek duyuşal panellere sunulmuş ve tüketilebilir bulunmuştur.

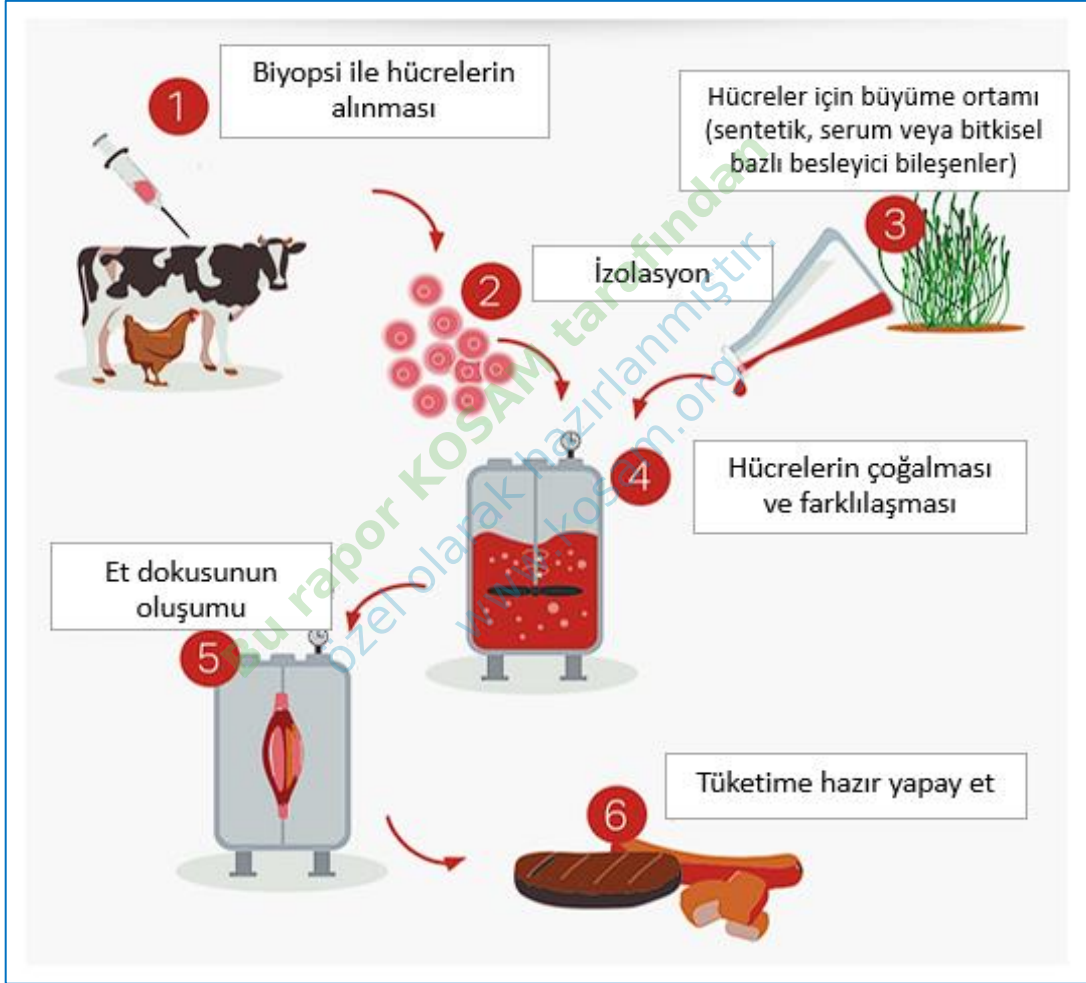
2000’li yılların sonlarına doğru yapay et araştırmaları daha kurumsal bir boyut kazanmıştır. 2008’de Norveç’te düzenlenen “Yapay Et Sempozyumu” ve 2011’de İsveç’te gerçekleştirilen “Yapay Et Çalıştayı”, bu alandaki bilimsel ve toplumsal ilgiyi artırmıştır (Sürek ve Uzun, 2020).

En önemli dönüm noktası ise 2013 yılında yaşanmıştır. Hollanda’daki Maastricht Üniversitesi’nden Mark Post ve ekibi, dünyanın ilk laboratuvar ortamında üretilmiş hamburgerini kamuoyuna tanıtmıştır. Yaklaşık 330.000 dolar maliyetle üretilen bu ürün, bir danadan alınan kök hücrelerin üç ay boyunca çoğaltılmasıyla elde edilmiştir. Duyusal panelde değerlendirilen hamburgerin tadı “neredeyse geleneksel ete yakın” bulunmuş, ancak renk ve yağ dokusu açısından eksiklikler olduğu belirtilmiştir (Zaraska, 2013). Bu deney, yapay etin laboratuvar ölçeğinden kamuoyuna sunulmasına yönelik ilk somut adım olarak tarihe geçmiştir.

2010’lu yıllardan itibaren yapay et araştırmaları hız kazanmış, özellikle 2015 sonrasında özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Mosa Meat, Aleph Farms, Fork and Good gibi girişimler, laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe geçiş için Ar-Ge çalışmalarını yoğunlaştırmıştır (GFI, 2023).

1.3. Üretim Teknolojisi

Yapay etin üretim teknolojisi, hücre biyolojisi, doku mühendisliği ve biyoproses teknolojilerinin kesişiminde gelişen çok disiplinli bir alandır. Temel prensip, hayvandan alınan canlı hücrelerin laboratuvar ortamında çoğaltılması ve kas dokusu benzeri bir yapıya dönüştürülmesidir. Bu süreç, hücre izolasyonu, çoğaltma (proliferasyon), farklılaşma (differentiation) ve doku oluşturma aşamalarını içermektedir (Guan ve ark., 2022). Yapay et üretiminde izlenen temel işlem basamakları Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3: Yapay Et Üretiminde Temel İşlem Basamakları
(Anonymous, 2022a).

Bu üretim sürecinin anlaşılabilmesi için, kullanılan hücre kaynaklarından besi ortamlarına, üretim yaklaşımlarından biyoreaktör sistemlerine ve yeni nesil teknolojilere kadar farklı aşamaların ele alınması gerekmektedir.

1.3.1. Hücre Kaynakları ve İzolasyon

Yapay et üretiminde en temel adım, uygun hücrelerin elde edilmesidir. Bu hücreler farklı kaynaklardan sağlanabilmektedir. En yaygın kullanılan hücre tipi, hayvandan biyopsi yoluyla alınan **“kas uydu hücreleri” (myosatellite cells)**’dir (Ben-Arye ve ark., 2020). Kas uydu hücreleri, kas dokusunun yenilenmesinden sorumlu oldukları için laboratuvar ortamında çoğaltılmaya uygundur. Uygun koşullar sağlandığında bu hücreler önce miyoblastlara, ardından miyositlere, daha sonra miyotüplere ve son olarak miyofiberlere dönüşerek kas dokusunu oluşturabilmektedir (Han ve ark., 2022; Soice ve Johnston, 2021). Kas uydu hücreleri, kas dokusundan izole edilip kültüre alındığında farklılaşarak kas lifleri oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle yapay et üretiminde en güvenilir hücre kaynağı olarak kabul edilmektedir (Ben-Arye ve ark., 2020; Soice ve Johnston, 2021). Alternatif olarak, **indüklenmiş pluripotent kök hücreler (iPSCs)** de kullanılabilmektedir. Bu hücreler, farklı hücre tiplerine dönüşebilme esnekliği sunmaktadır; ancak üretim süreçleri daha karmaşık ve maliyetlidir (Specht ve ark., 2018). **Embriyonik kök hücreler** ise teorik olarak sınırsız çoğalma kapasitesine sahiptir, fakat etik tartışmalar nedeniyle kullanım alanları oldukça sınırlıdır (Bogliotti ve ark., 2018; Yuan, 2018).

Kas dokusundan hücre elde etmek için öncelikle yağ ve bağ dokusu gibi gereksiz kısımlar uzaklaştırılır. Doku, antibiyotik içeren DPBS ile yıkanarak kontaminasyon riski azaltılır. Daha sonra, proteolitik enzimler (ör. kollajenaz, dispaz, tripsin) kullanılarak uydu hücreleri ayrıştırılır. Bu enzimler, 37 °C’de 30–60 dakika uygulanır ve dokunun parçalanmasını sağlar (Lee ve ark., 2023).

1.3.2. Besi Ortamları ve Büyüme Faktörleri

İzolasyon sonrası hücrelerin büyümesi için uygun bir besi ortamına ihtiyaç vardır. En yaygın kullanılan ortam DMEM (Dulbecco’s Modified Eagle Medium) olup, Ham’s F10, F12 ve MEM gibi alternatifler de bulunmaktadır (Ben-Arye ve ark., 2020; Lee ve ark., 2023). Besiyerine genellikle şu katkıları eklenir:

- **Serum:** En çok kullanılanı Fetal Bovine Serum (FBS)’tir. Ancak etik sorunlar ve yüksek maliyet nedeniyle alternatif serumlar (at serumu, tavuk embriyo ekstraktı, serum-free ortamlar) araştırılmaktadır (Lee ve ark., 2023).
- **Büyüme Faktörleri:** EGF (Epidermal Growth Factor), FGF (Fibroblast Growth Factor), IGF (Insulin-like Growth Factor) ve VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) gibi faktörler hücre proliferasyonu ve farklılaşmayı destekler (Ben-Arye ve ark., 2020; Lee ve ark., 2023; Marushima ve ark., 2020). Özellikle IGF-1 proliferasyonu, IGF-2 ise farklılaşmayı tetiklemektedir (Yu ve ark., 2015).

- **Antibiyotikler:** Penicillin/streptomycin en yaygın kullanılanlardır, ancak gıda güvenliği açısından antibiyotik kullanımını azaltma ihtiyacı vardır (Baksh ve ark., 2007).

1.3.3. İnkübatör Koşulları

Hücrelerin vücut içinde büyüdüğü fizyolojik koşullar, atmosferik koşullardan farklıdır. Bu nedenle, hücre kültüründe kullanılan inkübatörlerde çevresel parametrelerin dikkatle kontrol edilmesi gerekmektedir. Literatürde yer alan birçok çalışmada, tür fark etmeksizin genellikle %5 CO₂ konsantrasyonu korunmuştur. Bazı çalışmalarda ise O₂ konsantrasyonunun %2–3 arasında değiştirildiği bildirilmiştir. Bu bulgular, küçük ölçekli hücre kültürlerinde inkübasyon koşullarının kritik bir değişken olmadığını göstermektedir. Ancak, hücrelerin büyük miktarlarda biyoreaktörlerde üretilmesi söz konusu olduğunda, inkübasyon koşullarına ilişkin gereksinimlerin değişebileceği ve daha hassas kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyulabileceği öngörülmektedir (Lee ve ark., 2023).

1.3.4. Üretim Yaklaşımları

Hücreler yeterince çoğaldıktan sonra, farklılaşma ortamına alınarak kas liflerine dönüşmeleri sağlanır. Bu ortam genellikle daha düşük FBS ve daha fazla at serumu (HS) içerir. Bu koşullar, hücrelerin miyotüplere ve kas liflerine dönüşmesini teşvik eder (Lee ve ark., 2023). Hücreler birleşerek çok çekirdekli miyofibriller oluşturur ve ete benzer bir doku yapısı ortaya çıkar. Bu aşamada iki temel üretim yaklaşımı öne çıkmaktadır:

- **İskelet Tabanlı (Scaffold) Üretim:** Yapay et üretiminde kas hücreleri yapışkan (adherent) hücreler olduklarından, üç boyutlu doku oluşturabilmeleri için bir destek yapısına, yani iskeletlere (scaffold) ihtiyaç duyarlar. İskeletler, hücrelerin tutunmasını, çoğalmasını ve farklılaşarak kas lifleri oluşturmasını kolaylaştırır. Kullanılan iskele materyalleri genel olarak doğal ve sentetik kaynaklı olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal iskeleler arasında en yaygın kullanılan materyal jelatin olup, hayvansal kaynaklıdır ve hücre adezyonunu kolaylaştırır (Ben-Arye ve ark., 2020). Bunun yanında, kolajen ve elastin gibi hayvansal proteinler de hücre büyümesini destekleyen biyobozunur yapılar olarak kullanılmıştır (Kafi ve ark., 2019; Wang ve ark., 2018). Ayrıca, hayvansal yağ dokularının protein ve DNA'sı uzaklaştırılarak elde edilen yapılar da iskele olarak değerlendirilmiştir (Roehm ve ark., 2016). Bitki kaynaklı iskeleler ise son yıllarda dikkat çekmektedir; örneğin, ıspanak yaprakları veya bitki gövdeleri de-selülarite edilerek, damar benzeri yapılar korunmuş ve kas hücrelerinin bu yapılarla tutunarak büyümesi sağlanmıştır. Bu yöntem hem ekonomik hem de gıda ile uyumlu olması nedeniyle avantajlıdır. Ayrıca, soya proteini kullanılarak gözenekli ve yenilebilir iskeleler geliştirilmiş, bu sayede yapay etin dokusal özellikleri iyileştirilmiştir (Ben-Arye ve ark., 2020). Sentetik iskeleler arasında ise biyobozunur polimerler öne çıkmaktadır. Örneğin,

kitosan, kabuklu deniz canlılarının kitininden türetilmiş olup biyobozunur ve biyouyumlu bir materyaldir (Kafi ve ark., 2019; Seyed ve Vijayaraghavan, 2018). Bunun yanında, kolajen ve elastin bazlı sentetik yapılar da kullanılmıştır; ancak bu materyallerin kas hücreleriyle tam anlamıyla bütünleşerek et dokusu oluşturma kapasiteleri sınırlıdır (Wang ve ark., 2018). Öte yandan, biyobozunmaz polimerler de denenmiş olsa da, bunlar daha çok yapay organ mühendisliğinde kullanılmakta ve gıda güvenliği açısından yapay et için uygun görülmemektedir (Liu ve ark., 2018; Tabata ve ark., 2014). Bu nedenle, gelecekteki araştırmaların odak noktası, yenilebilir, biyobozunur ve ekonomik iskele (scaffold) materyallerinin geliştirilmesi olacaktır. Bununla birlikte, bu yöntemler özellikle hamburger köftesi veya sosis gibi daha basit yapıları ürünlerin üretiminde avantaj sağlarken, biftek gibi kompleks ve lifli yapıya sahip ürünlerin üretiminde hâlen önemli sınırlılıklar barındırmaktadır (Alam ve ark., 2024).

- **Kendiliğinden Örgütlenen (Self-Organizing) Üretim:** Bu yöntem, yapay et üretiminde daha iddialı bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemde doğrudan kas dokusu parçaları (eksplantlar) kültüre alınır ve mevcut kas dokusunun in vitro çoğaltılması hedeflenir. Böylece, dokunun in vivo yapısına daha yakın bir organizasyon elde edilebilmektedir (Benjaminson ve ark., 2002). Benjaminson ve arkadaşları, altın balık kas dokusu üzerinde yaptıkları çalışmalarda farklı besi ortamlarını (fetal bovin serumu, balık unu özütü, mantar özütleri) test etmiş ve eksplantların yüzey alanında %79'a varan büyüme sağlamışlardır. Ayrıca elde edilen dokular duysal panele sunulmuş ve "yenilebilir görünüme ve kokuya sahip" bulunmuştur. Benzer şekilde, domuz ve keçi kas hücreleriyle yapılan deneylerde de FBS ve at serumu kullanılarak %70–80 oranında proliferasyon elde edilmiştir (Li ve ark., 2015; Wang ve ark., 2020). Bu bulgular, yöntemin potansiyelini ortaya koysa da damarlanma (vaskülarizasyon) eksikliği nedeniyle büyük ölçekli doku gelişimi hâlen sınırlıdır.

1.3.5. Biyoreaktör Sistemleri

Yapay et üretiminde biyoproses genel olarak dört aşamadan oluşmaktadır: hücre çoğaltma, hücre farklılaşması, ürün üretimi ve atıkların değerlendirilmesi. Bu aşamaların her biri, biyoreaktör sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken kritik süreçlerdir. Kas hücrelerinin çoğaldığı ve farklılaştığı ortamın karmaşıklığı, in vitro et biyoprosesini mevcut biyoproseslerden ayırmakta ve biyoreaktörlerin önemini artırmaktadır (Mateti ve ark., 2022).

Statik biyoreaktörler, hücrelerin bir iskele üzerine ekilmesi, uygun büyüme ortamının eklenmesi ve inkübatörde kültüre edilmesi esasına dayanır. Bu sistemler, basit yapıları

nedeniyle laboratuvar ölçeğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak endüstriyel ölçekte üretim için yetersizdir; çünkü büyük hacimlerde hücrelerin homojen şekilde beslenmesini ve düşük kesme kuvveti altında büyümesini sağlayamazlar (Mateti ve ark., 2022).

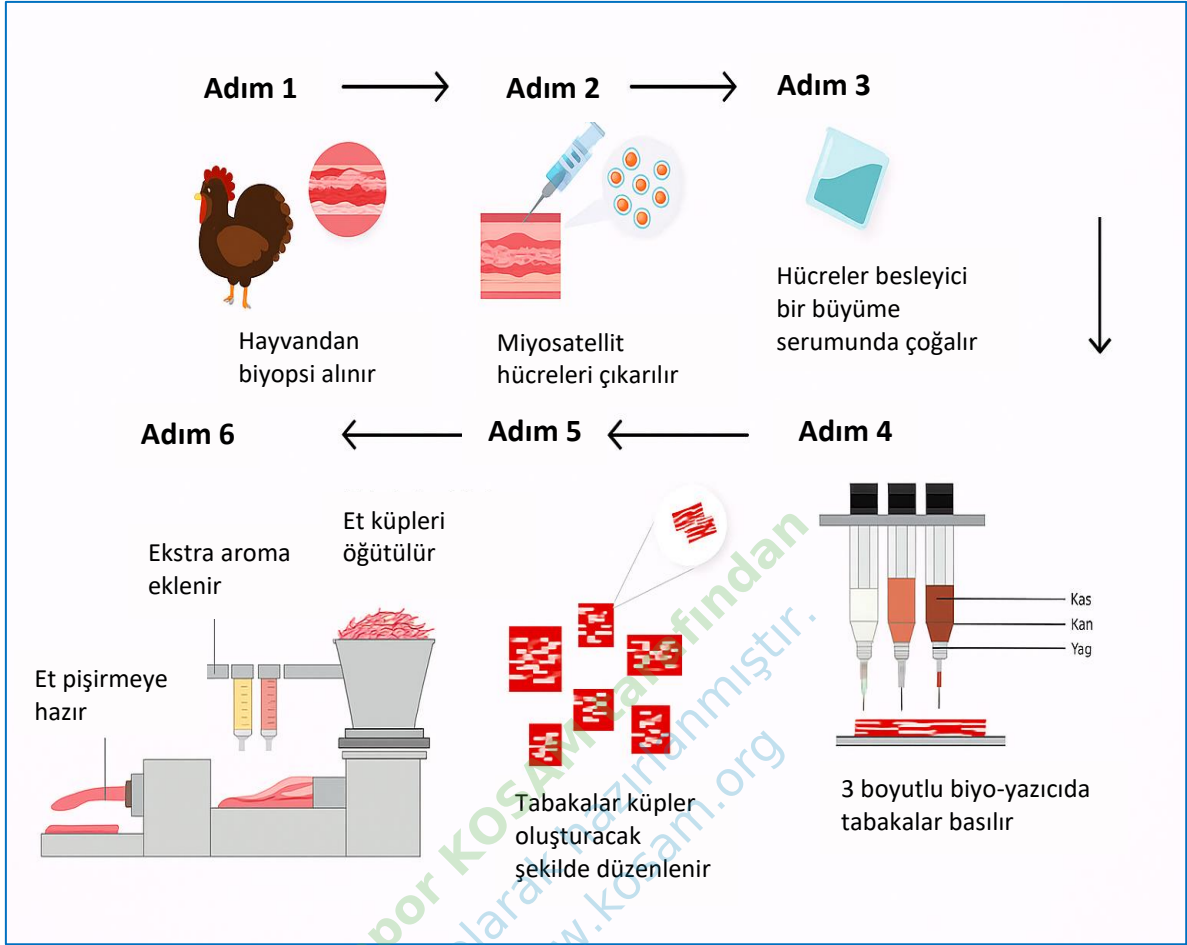
Bu nedenle, daha gelişmiş biyoreaktör sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Dönen duvarlı kap biyoreaktörleri, santrifüj kuvveti, sürüklenme kuvveti ve yerçekimi kuvvetini dengeleyecek bir hızda döner. Böylece üç boyutlu kültür ortamı besi ortamına batırılır ve in vivo yapıya benzer bir doku gelişimi desteklenir. Döner hareket, laminar akış oluşturarak difüzyonu artırır ve düşük kesme stresiyle yüksek kütle transferi sağlar. Bu özellikleri nedeniyle döner biyoreaktörler, iskelet kası doku mühendisliği araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Mateti ve ark., 2022).

Bir diğer önemli sistem ise doğrudan perfüzyon biyoreaktörleridir. Bu sistemlerde besi ortamı gözenekli iskeleden geçirilir ve gaz değişimi harici bir sıvı döngüsünde gerçekleşir. Perfüzyon biyoreaktörleri, yüksek kütle transferi ve oldukça düşük kesme stresi avantajına sahiptir (Carrier ve ark., 2002). Bu özellikleriyle özellikle scaffold tabanlı kültürlerde hücrelerin beslenmesi ve oksijenlenmesi için uygun bir ortam sağlar (Mateti ve ark., 2022).

Her iki biyoreaktör tipi de umut verici olmakla birlikte, ölçeklenebilirlik ve enerji verimliliği hâlen çözülmesi gereken temel sorunlardır. Yapay etin laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe taşınabilmesi için, düşük maliyetli, yüksek hacimli ve enerji açısından verimli biyoreaktör tasarımlarının geliştirilmesi kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

1.3.6. 3D/4D Biyobaskı

Üç boyutlu (3D) ve dört boyutlu (4D) biyobaskı, yapay et üretiminde son yıllarda öne çıkan yenilikçi yöntemlerdir. 3D biyobaskı, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak biyolojik ürünün prototipinin oluşturulması ve hücrelerin biyo-mürekkeplerle katman katman basılması esasına dayanır. Hücreler kültür ortamında birleşerek kan damarlarıyla beslenebilen biyolojik ürünler oluşturur (Aldhous, 2006; Boland ve ark., 2003). Sürecin genel akışı Şekil 4'te özetlenmiştir.



Şekil 4: 3D/4D Biyoyazıcı Tekniğiyle Yapay Et Üretim Sürecinin Temel Aşamaları
(Mateti ve ark., 2022)

3D biyobaskı, rejeneratif tıp alanında organ ve doku üretiminde kullanılan en etkili tekniklerden biri olup, farklı hücre tiplerini tek bir 3D doku mimarisine hassas bir şekilde yerleştirme imkânı sunar (Javaid ve Haleem, 2019). Bu teknoloji, kas dokusunun yanı sıra yağ ve damar yapılarının da entegre edilmesine olanak tanıdığı için, yapay etin tat, doku ve besin değerinin geliştirilmesinde kritik bir potansiyele sahiptir.

4D biyobaskı ise 3D baskıya zaman boyutunu ekleyerek, nem ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere duyarlı dokuların üretilmesini mümkün kılar. Bu teknoloji, kas, kemik ve kardiyovasküler dokuların onarımında kullanılmakta olup, gelecekte yapay et üretiminde de uygulanabilir (Javaid ve Haleem, 2019).

Nitekim 2021 yılında Aleph Farms, Technion (İsrail Teknoloji Enstitüsü) ile iş birliği yaparak 3D biyobaskı kullanarak dünyanın ilk rib-eye bifteğini üretmiştir. Bu ürünün normal et gibi yağ içerdiği, yumuşak ve sulu bir dokuya sahip olduğu belirtilmiştir. Şirket, gelecekte bu teknolojiyle farklı et türlerinin de üretilebileceğini iddia etmektedir (Anonymous, 2021). Şekil 5'te bu bifteğe ait görsel verilmiştir.



Şekil 5: Aleph Farms ve Technion İş Birliği ile 3D Biyobaskı Kullanılarak Üretilen Dünyanın İlk Rib-Eye Bifteği (Anonymous, 2021)

1.3.7. Yeni Yaklaşımlar: Biyofotonik ve Nanoteknoloji

Yapay et üretiminde araştırılan yeni yöntemlerden biri **biyofotonik** teknolojisidir. Bu yöntemde lazer ışığı kullanılarak parçacıklar birbirine bağlanır ve “optik madde” adı verilen yapılar oluşturulur. Işık kaldırılana kadar bir arada tutulan bu yapılar, hücrelerin kaynaşmasını sağlayabilir (Mateti ve ark., 2022). Eğer bu teknoloji kas hücrelerinin birleşmesini mümkün kılarsa, yağ gibi özelliklerin daha kolay eklenmesine imkân tanıyabilir.

Biyofotonik, geleneksel iskeleme tekniklerine alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Hopkins ve Dacey, 2008). Şimdiye kadar kırmızı kan hücreleri ve hamster yumurtalıkları biyofotonik kullanılarak üretilmiştir (Mullins, 2006).

Bir diğer yenilikçi alan ise **nanoteknoloji**dir. Nanoteknoloji, atomik düzeyde maddeyi manipüle edebilen molekül boyutunda araçların tasarlanmasını hedefler. Et üretiminde doğrudan uygulanabilirliği henüz ekonomik ve teknolojik açıdan mümkün olmasa da, nanoteknoloji gıda sektöründe farklı avantajlar sunmaktadır (Hopkins ve Dacey, 2008). Örneğin, etin besin değerini kaybetmeden korunması, raf ömrünün uzatılması, ürünlerin orijinalliğinin ve son kullanma tarihinin izlenmesi nanoteknoloji ile mümkün olabilir (Banerjee ve ark., 2020; Das ve ark., 2020). Ayrıca nano cihazlar, antimikrobiyal parçacıklarla birleştirilerek gıda güvenliği standartlarını destekleyebilir (Ramachandraiah ve ark., 2015; Sikka, 2020).

Gelecekte nanoteknolojinin, yenilebilir ve ucuz kültür hücreleri, iskeleler, kültür ortamları ve büyüme hormonları geliştirilmesinde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Bu nedenle biyofotonik ve nanoteknoloji, yapay et üretiminde mevcut yaklaşımların sınırlarını aşabilecek potansiyel yenilikçi yöntemler olarak görülmektedir (Mateti ve ark., 2022).

1.4. Teknolojik Zorluklar

Yapay et üretiminde son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da teknolojinin laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe taşınabilmesi için çözülmesi gereken çok sayıda zorluk bulunmaktadır. Bu zorluklar yalnızca biyoteknolojik süreçlerle sınırlı değildir; aynı zamanda maliyet, ölçeklenebilirlik, enerji kullanımı, ürün kalitesi, regülasyon ve tüketici kabulü gibi çok boyutlu alanları kapsamaktadır. Ancak bu alt bölümde özellikle teknolojik zorluklara odaklanılacak; ekonomik, sosyolojik ve regülasyon boyutları ise raporun ilerleyen bölümlerinde ele alınacaktır.

Yapay et üretiminde karşılaşılan teknolojik zorluklar, hücre biyolojisi, doku mühendisliği ve biyoproses teknolojilerinin kesişiminde ortaya çıkmaktadır. Hücrelerin seçimi ve uzun vadeli stabilitesi, besi ortamlarının etik ve maliyet açısından sürdürülebilir hale getirilmesi, hücrelerin çoğaltılması ve farklılaştırılması için uygun protokollerin geliştirilmesi, üç boyutlu doku yapılarının oluşturulması ve biyoreaktör sistemlerinin endüstriyel ölçekte verimli çalıştırılması bu alandaki başlıca sorun alanlarını oluşturmaktadır (Kirsch ve ark., 2023). Ayrıca, ürünün tekstür, tat ve besin değeri açısından geleneksel etle benzerlik göstermesi için ileri düzey biyomalzeme ve biyobaskı teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

1.4.1. Hücre Seçimi ve Optimizasyonu

Hücre seçimi; hedef hayvan türü, nihai ürünün özellikleri ve bölgesel düzenlemeler gibi faktörlerden etkilenmektedir. Kas ve yağ hücreleri etin temel bileşenleri olduğundan, bu hücreler yetişkin dokulardan izole edilip ex vivo koşullarda çoğaltılabilmektedir. Ancak bu hücrelerin çoğalma hızları düşük olup, birkaç bölünmeden sonra replikatif yaşlanma (senesens) sürecine girerek büyümeyi durdurmaktadır (Hayflick, 1965).

Hücre hattı seçiminde üç temel strateji öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, yüksek miktarda hücre izolasyonudur; ancak bu yaklaşım çok sayıda hayvandan hücre elde edilmesini gerektirdiği için sürdürülebilir değildir. İkinci strateji, hücrelerin ölümsüzleştirilmesi (immortalizasyon) olup genellikle onkogenler veya telomeraz genleri (TERT, c-MYC, KRAS, HOXA9, SV40) eklenerek sağlanmaktadır. Ancak bu yöntem, hücreleri GDO statüsüne soktuğundan çoğu ülkede regülasyon engelleriyle karşılaşmaktadır (Pasitka ve ark., 2023). Alternatif olarak, kimyasal karsinojenler veya radyasyonla immortalizasyon denenmiş, bazı çalışmalarda ise spontan immortalizasyon gözlemlenmiştir. Örneğin, tavuk fibroblastlarının

uzun süreli kültür sonrası %2 oranında kendiliğinden immortalize olduğu bildirilmiştir (Akagi, 2004). Ancak büyük hayvanlarda bu olay son derece nadirdir; şimdiye kadar yalnızca sığır meme epitelyal hücreleri (BME65Cs) spontan immortalize hücre hattı olarak tanımlanmıştır (Guo ve ark., 2022).

Bu nedenle günümüzde en umut verici yaklaşım, hızlı büyüyen kök hücrelerin seçilmesidir. Embriyonik kök hücreler (ESC), indüklenmiş pluripotent kök hücreler (iPSC), mezenkimal kök hücreler (MSC) ve uydu kas hücreleri (SMC) bu amaçla kullanılmaktadır. ESC'ler yüksek farklılaşma kapasitesine sahip olsa da etik kaygılar nedeniyle sınırlı kabul görmektedir. iPSC'ler genetik mühendislik ile elde edildiğinden tüketici nezdinde GDO algısına neden olabilmektedir. Bu nedenle, alternatif olarak kimyasal olarak indüklenmiş pluripotent kök hücreler (CiPSC) geliştirilmiştir (Luo, 2022). MSC'ler ve SMC'ler ise yetişkin dokulardan kolayca izole edilebilmekte, uzun süre çoğaltılabilmekte, kas/yağ hücrelerine farklılaştırılabilmektedir (Kirsch ve ark., 2023).

1.4.2. Besi Ortamı Bileşimi

Hücre kültüründe kullanılan besi ortamı, iki temel bileşenden oluşmaktadır: bazal besi ortamı ve serum takviyeleri. Bazal ortam, glikoz ve amino asitler gibi besinleri sağlayarak pH ve ozmolarite dengesini korurken; serum takviyeleri büyüme faktörleri, hormonlar ve adezyon faktörleri içermektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan serum, fetal dana serumu (FBS/FCS) olup, hayvan refahı açısından ciddi etik sorunlar doğurmaktadır. Bu nedenle, alternatif olarak rekombinant proteinler veya bitki bazlı protein hidrolizatları kullanılabilmektedir (Choi ve ark., 2021; Humbird, 2021).

Besi ortamının yüksek maliyeti, yapay etin ekonomik üretiminin önündeki en büyük engellerden biridir. Güncel hesaplamalara göre, besi ortamının litre başına maliyeti yaklaşık 400 ABD doları (USD) seviyesindedir. Bu sorunu aşmak için besi ortamının geri dönüşümü, toksik metabolitlerin uzaklaştırılması, gıda sınıfı bileşenlerin kullanımı ve antibiyotiklerin doğal biyomoleküllerle ikame edilmesi gibi çeşitli stratejiler geliştirilmektedir (Kirsch ve ark., 2023).

1.4.3. Hücre Çoğaltma Stratejileri

Memeli hücrelerinin çoğu yüzeye bağımlı (anchorage-dependent) olduğundan, ölçeklenebilirlik önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Bu sınırlılığı aşmak amacıyla üç temel strateji geliştirilmiştir: mikrot taşıyıcılar (microcarriers), hücre agregatları ve hidrojel

kapsülleme. Tüketilebilir mikrotasıyıcılar (örneğin soya, zein) kullanıldığında, son ürünün tat, renk ve doku özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir (Kirsch ve ark., 2023).

Hesaplamalara göre 1 kg kas proteini üretmek için yaklaşık $2.9 \times 10^{11} - 8 \times 10^{12}$ hücre gerekmekte olup, bu da 5000 L'ye kadar biyoreaktör hacmi anlamına gelmektedir (Allan ve ark., 2019; Stephens ve ark., 2018). Günümüzde en yaygın kullanılan biyoreaktörler karıştırmalı tank reaktörler olsa da, oksijen ve kesme kuvveti (shear stress) gradyanları önemli sorunlara neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2021). Bu nedenle alternatif olarak air-lift, dikey çarklı, dalga reaktörleri ve hollow-fiber biyoreaktörler önerilmektedir (Li ve ark., 2020). Ancak bu sistemlerde de besin dağılımı, metabolit birikimi ve hücre hasadı gibi zorluklar devam etmektedir.

1.4.4. İskele (Scaffold) Materyalleri

İskeleler, hücrelerin tutunarak çoğalmasını sağlamak ve etin doku benzeri yapısını oluşturmak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu amaçla farklı biyomalzemeler kullanılabilmektedir. Polisakkaritler (örneğin aljinat, nişasta, kitosan, pektin), proteinler (kolajen, jelatin, gluten), lipitler (parafin, shellac) ve sentetik polimerler (PGA, PEG) bu alanda öne çıkan seçeneklerdir. Ayrıca, mantar miselyumu ve bitki dokularının hücreleştirilmiş yapıları da umut verici alternatifler arasında değerlendirilmektedir (Li ve ark., 2021; Xiang ve ark., 2022).

Bununla birlikte, iskele teknolojilerinde en büyük zorluklardan biri oksijen ve besin difüzyonunun yaklaşık 200 μm ile sınırlı olmasıdır (Place ve ark., 2017). Bu sınırlılık, özellikle kalın et dokularının üretiminde önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle, daha gerçekçi ve kompleks et yapılarının elde edilebilmesi için damarlanma (vaskülarizasyon) stratejilerinin geliştirilmesi veya perfüzyon kanallarının kullanılması gerekmektedir.

1.4.5. Hücre Farklılaşması

Kas veya yağ hücrelerinin elde edilebilmesi için kök veya progenitör hücrelerin farklılaştırılması gerekmektedir. Geleneksel farklılaşma protokollerinde genellikle dexametazon, 3-isobutyl-1-methylxanthine (IBMX), insülin ve tiazolidindionlar gibi tıbbi bileşikler kullanılmaktadır (Sugii ve ark., 2023). Ancak bu maddeler gıda tüketimi için onaylı olmadığından, araştırmacılar alternatif çözümler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda, Çin tıbbında kullanılan dan fenolik asit B, ikariin ve astragalositler gibi bitkisel bileşikler ile çeşitli yağ asitleri doğal alternatifler olarak test edilmektedir (Mehta ve ark., 2018).

Bunun yanı sıra, hücrelerin mekanosensitif özellikleri nedeniyle, farklılaşma süreci yalnızca kimyasal faktörlerden değil, aynı zamanda iskelenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden de

etkilenmektedir. Özellikle iskelenin sertliği ve yüzey bileşimi, hücrelerin kas veya yağ hücrelerine yönlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Ghasemi-Mobarakeh ve ark., 2015).

1.4.6. Ürün Kalitesi ve Duyusal Özellikler

Yapay etin tat, doku ve besleyicilik değeri­nin geleneksel etle aynı seviyeye getirilmesi hâlen önemli bir zorluktur. İskele (Scaffold) tabanlı üretim kıyma tipi ürünlerde görece başarılı olsa da biftek gibi kompleks ürünlerde yağ dağılımı, lif yapısı ve renk gibi özelliklerin optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca tüketici algısı açısından “gerçek et” deneyiminin sağlanması, teknolojinin kabulü için kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Besleyicilik değeri açısından bakıldığında, yapay et için kapsamlı ve standartlaştırılmış veriler henüz kamuya açık değildir. Şimdiye kadar yapılan küçük ölçekli laboratuvar çalışmaları, hücre kültürlerinin besin değeri­nin ölçülebileceğini göstermektedir (Rubio ve ark., 2019). Farklı hücre tipleri farklı besin öğeleri sağlamaktadır: kas hücreleri başlıca protein kaynağı olurken, yağ hücreleri yağ asidi profiline katkıda bulunmaktadır (Fish ve ark., 2020). Ancak geleneksel etin sağladığı bazı bileşenler (besin öğeleri) yapay ette doğal olarak bulunmamaktadır. Örneğin, vitamin B12 yalnızca bakteriler tarafından üretildiği için yapay et ürünlerine dışarıdan eklenmesi gerekmektedir (Kadim ve ark., 2015).

Yapay etin besin profili, çeşitli biyoteknolojik yaklaşımlarla ayarlanabilir niteliktedir. Ko-kültür sistemleri, besi ortamı takviyeleri ve genetik modifikasyon gibi yöntemlerle besin içeriği optimize edilebilmektedir (Datar ve Betti, 2010). Besi ortamının formülasyonu yalnızca hücrelerin canlılığı ve verimliliği üzerinde değil, aynı zamanda ürünün besin profili ve hatta tat özellikleri üzerinde de doğrudan etkilidir. Uzun vadede genetik modifikasyon, besleyicilik değeri­ni artırmak için daha verimli bir yöntem olarak görülse de, bu tür yaklaşımlar regülasyon stratejileri ve tüketici kabulü açısından sorunlar oluşturabilmektedir (Rubio ve ark., 2020).

Sonuç olarak, yapay etin ürün kalitesi ve duyusal özellikleri, teknolojinin ticarileşmesinde en kritik alanlardan birini oluşturmaktadır. Tat, doku ve besleyicilik değeri­nin geleneksel etle uyumlu hale getirilmesi yalnızca teknik bir zorluk değil, aynı zamanda tüketici kabulü açısından da belirleyici bir faktördür. Bu bağlamda, besi ortamı formülasyonları, hücre farklılaşma stratejileri ve genetik müdahaleler gibi farklı yaklaşımlar araştırmalarda gündeme gelmektedir. Ancak özellikle genetik müdahaleler, regülasyon süreçleri ve tüketici algısı açısından tartışmalı bir alan olarak değerlendirilmektedir.

2. EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENDÜSTRİYEL UYGULANABİLİRLİK

Yapay etin gelecekteki konumu yalnızca teknolojik gelişmelere değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliğine de bağlıdır. Üretim maliyetleri, ölçek ekonomileri, yatırım trendleri, tedarik zincirindeki dönüşüm ve istihdama olası etkiler, bu teknolojinin ticarileşmesinde temel belirleyici faktörlerdir. Geleneksel kırmızı et sektörü yüzyıllardır kökleşmiş bir endüstri yapısına sahipken, yapay et henüz emekleme aşamasında olan bir alan olarak yüksek maliyet dezavantajları, belirsiz arz zinciri ve tüketiciye erişimdeki engeller ile karşı karşıyadır. Öte yandan, sektörün artan yatırım ilgisi ve teknolojik ilerlemelerle ortaya çıkabilecek maliyet düşüşleri, bu alanda ekonomik bir potansiyel bulunduğunu göstermektedir. Ancak, bu potansiyelin ne ölçüde gerçekleşeceği konusunda belirsizlikler devam etmektedir. Bu nedenle bu bölümde yapay etin ekonomik sürdürülebilirliği hem fırsatlar hem de kısıtlar dikkate alınarak dengeli bir şekilde ele alınacaktır.

2.1. Maliyetlendirme ve Ölçek Ekonomisi

Yapay etin ekonomik uygulanabilirliği, büyük ölçüde üretim maliyetlerinin düşürülmesine bağlıdır. İlk laboratuvar ölçekli ürün olan 2013 tarihli yapay hamburgerin maliyeti yaklaşık 325.000 ABD doları (USD) (yaklaşık 2,3 milyon ABD doları/kg) olarak kaydedilmiştir (Garrison ve ark., 2022). Bu rakam, teknolojinin henüz başlangıç aşamasında olduğunu göstermektedir. O tarihten bu yana üretim süreçlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve maliyetler dramatik biçimde düşmüştür.

Güncel ekonomik modellemeler, 60 milyon USD yatırım maliyetiyle kurulacak ve yılda yaklaşık 540.000–560.000 kg ürün üretecek büyük ölçekli bir tesis için kilogram başına üretim maliyetinin 63 ABD doları (USD) seviyelerine kadar indirilebileceğini öngörmektedir. Ancak bu tahmin, büyüme faktörlerinin düşük maliyetle üretilebilmesi ve besi ortamı verimliliğinin artırılması gibi henüz tam anlamıyla gerçekleşmemiş teknolojik ilerlemelere dayanmaktadır. Pratikte, günümüzde yapay etin perakende fiyatının kilogram başına 100 USD'nin üzerinde olacağı tahmin edilmektedir.

Üretim maliyetlerinin en büyük kısmını üç kalem oluşturmaktadır (Garrison ve ark., 2022):

- **Besi Ortamı (Growth Medium):** Hücrelerin büyümesi için gerekli olan büyüme faktörleri ve hormonlar, toplam maliyetin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır.
- **Biyoreaktörler Ve İşleme Ekipmanları:** Yüksek sermaye yatırımı gerektirmekte, bakım ve sterilizasyon maliyetleri de ek yük getirmektedir.

- **İşgücü:** Hücre kültürü ve biyoproses yönetimi, yüksek nitelikli işgücü gerektirdiğinden maliyetlerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Bu üç kalem, toplam üretim maliyetinin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, maliyetlerin düşürülmesi için öncelikli olarak serumdan bağımsız, düşük maliyetli besi ortamlarının geliştirilmesi, biyoreaktör verimliliğinin artırılması ve otomasyon yoluyla işgücü maliyetlerinin azaltılması gerekmektedir (Garrison ve ark., 2022).

Karşılaştırma yapmak gerekirse, 2021 yılında ABD'de toptan satış fiyatları kilogram başına dana eti için 6,17 ABD doları (USD), domuz eti için ise 3,75 ABD doları (USD) seviyesindeydi. Bu rakamlar, yapay etin mevcut koşullarda geleneksel etle fiyat rekabetine girmesinin mümkün olmadığını göstermektedir. Ancak teknolojik ilerlemeler ve ölçek ekonomisi sayesinde maliyetlerin önümüzdeki on yıl içinde 5–10 USD/kg seviyelerine kadar düşebileceği öngörülmektedir (Garrison ve ark., 2022).

Bununla birlikte, yapay etin kısa vadede geleneksel etin doğrudan ikamesi olması beklenmemektedir. Daha çok, yüksek katma değerli niş ürünler (örneğin hamburger köftesi, nugget, sosis gibi işlenmiş ürünler) segmentinde premium fiyatlarla pazara girmesi öngörülmektedir. Uzun vadede ise, teknolojik ilerlemeler ve çevresel maliyetlerin içselleştirilmesi (örneğin karbon vergileri) ile yapay etin daha geniş bir tüketici kitlesine ulaşması mümkün olabilir.

2.2. Yatırım Trendleri ve Küresel Girişimler

Yapay et sektörü, son on yılda bilimsel bir araştırma alanı olmaktan çıkarak küresel ölçekte milyarlarca dolarlık yatırımların yöneldiği stratejik bir endüstri haline gelmiştir. 2013'te ilk kez açıklanan yatırımın ardından, 2023 sonuna kadar sektöre toplamda 3,1 milyar USD'den fazla sermaye aktarılmıştır. Bu yatırımların %80'inden fazlası son üç yılda gerçekleşmiş olup, sektörün hızla olgunlaşmaya başladığını göstermektedir (GFI, 2023).

2022 yılı, yapay et yatırımları açısından rekor bir yıl olmuş ve toplam 922 milyon ABD doları (USD) yatırım yapılmıştır. Bunun yaklaşık yarısı, UPSIDE Foods'un 400 milyon ABD doları (USD) Seri C fonlama turundan gelmiştir. Ancak 2023'te küresel ekonomik koşulların (yüksek faiz oranları, enflasyon, risk sermayesi daralması) etkisiyle yatırımlar 225,9 milyon ABD doları (USD) seviyesine gerilemiştir. Bu düşüş yalnızca yapay et sektörüne özgü olmayıp, fintech, foodtech ve iklim teknolojileri gibi diğer risk sermayesi yoğun sektörlerde de benzer şekilde %40–60 oranında yaşanmıştır. Dolayısıyla, 2023'teki gerileme sektörün zayıflığından çok, küresel finansal koşulların yansıması olarak değerlendirilmelidir (GFI, 2023).

2023 yılı, yapay etin laboratuvardan sofraya geçişinde önemli bir dönüm noktası olmuştur. ABD ve Singapur'da tüketicilere ilk kez yapay tavuk ürünleri sunulmuş, 2024 başında ise İsrail, Aleph Farms'ın geliştirdiği yapay biftek için onay sürecini başlatarak bu alanda dünyada üçüncü ülke olmuştur (GFI, 2023).

Sektörde faaliyet gösteren şirket sayısı 2023 sonunda 174'e ulaşmış, ayrıca 80'den fazla şirket yatırım, ortaklık veya yan iş kolları aracılığıyla ekosisteme dahil olmuştur. Bu durum, yalnızca nihai ürün geliştiren girişimlerin değil, aynı zamanda hücre hatları, besi ortamı ve biyoproses tasarımı gibi şirketler arası uzmanlık alanlarında faaliyet gösterenlerin de hızla arttığını göstermektedir (GFI, 2023).

Tesis yatırımları da dikkat çekici bir ivme kazanmıştır. 2023 yılında 10 yeni tesis faaliyete geçmiş, 7 tesisin temeli atılmıştır. ABD'de Believer Meats'in 200.000 mt² büyüklüğündeki tesisi yıllık 10.000 ton üretim kapasitesiyle dünyanın en büyük yapay et tesisi olma iddiasını taşıırken, İspanya'da JBS iştiraki BioTech Foods'un 1.000 ton/yıl kapasiteli tesisi Avrupa'da öncü bir örnek olarak öne çıkmaktadır. Hollanda'da Mosa Meat, Çin'de CellX, İngiltere'de Hoxton Farms ve İsrail'de Aleph Farms gibi girişimler de pilot ve ticari ölçekli tesis yatırımlarını hızlandırmıştır (GFI, 2023). 2023 yılında açılan ve inşaatına başlanan yapay et tesislerine ilişkin öne çıkan örnekler Tablo 2'de özetlenmiştir.

Yapay et artık yalnızca start-up'ların değil, aynı zamanda küresel gıda devlerinin de stratejik yatırım alanı haline gelmiştir. Dünyanın en büyük et üreticisi JBS, Brezilya'da 62 milyon ABD doları (USD) bütçesiyle bir Ar-Ge merkezi kurarken; Tyson Foods, UPSIDE Foods, Believer Meats ve Omeat gibi girişimlere yatırım yapmıştır. Nestlé, Cargill ve Danone gibi şirketler de sektöre doğrudan veya dolaylı yatırımlarla dahil olmuştur. Özellikle Danone'nin İsrail merkezli Wilk'e yaptığı yatırım, yapay süt ürünlerinin de gündeme girdiğini göstermektedir (GFI, 2023).

Tablo 2. 2023'te Açılan ve İnşaatı Başlayan Yapay Et Tesisleri

Şirket / Ülke	Tesis Türü / Kapasite	Açıklama
Believer Meats (ABD)	200.000 ft ² tesis, yıllık 10.000 ton kapasite	Dünyanın en büyük yapay et tesisi olma iddiası; Kuzey Carolina'da inşaat başladı.
BioTech Foods (İspanya, JBS iştiraki)	1.000 ton/yıl kapasite	Avrupa'da ticari ölçekli ilk büyük tesislerden biri; 2024'te tamamlanması planlanıyor.
Mosa Meat (Hollanda)	30.000 ft ² tesis, 1.000 L biyoreaktörler	Yılda on binlerce burger üretim kapasitesi; Maastricht'te açıldı.
CellX (Çin)	"Future Food Factory X" – binlerce litrelik biyoreaktör kapasitesi	Şanghay'da kurulan ilk büyük ölçekli yapay et fabrikası.
Hoxton Farms (İngiltere)	14.000 ft ² tesis, 10 ton/yıl yapay yağ üretimi	Avrupa'da yapay yağ üretimine odaklanan pilot tesis.
Aleph Farms (İsrail)	Pilot üretim tesisi (Rehovot) + Singapur'da üretim anlaşması	Dünyanın ilk yapay biftek onay sürecini başlatan şirket.
Fork and Good (ABD)	13.000 ft ² pilot tesis	Jersey City'de açıldı; maliyetleri geleneksel domuz etiyle eşitlemeyi hedefliyor.
Extracellular (İngiltere)	Avrupa'nın en büyük pilot tesisi	Bristol'de açıldı; yapay et ve deniz ürünleri için ölçeklenebilir üretim hizmeti sunuyor.
Magic Valley (Avustralya)	3.000 L biyoreaktör kapasitesi, 150.000 kg/yıl	Melbourne'de Co-Labs inkübatöründe yeni pilot tesis.
SCiFi Foods (ABD)	Pilot tesis, CRISPR tabanlı hücrelerle yapay sığır eti	Kaliforniya'da açıldı; gen düzenleme teknolojisi kullanıyor.

(GFI, 2023)

Sonuç olarak; yapay et sektörü, risk sermayesi fonları, gıda devleri ve devlet destekleriyle hızla büyüyen bir yatırım alanıdır. 2023'te yaşanan fonlama daralması, küresel ekonomik koşulların bir yansıması olarak görülmeli; uzun vadede ise kamu fonları, devlet teşvikleri ve "çevresel, sosyal ve yönetim (ESG)" odaklı yatırımların sektörü desteklemeye devam edeceği öngörülmektedir. Türkiye açısından bakıldığında ise, doğrudan yapay et üretimi yapan bir girişim henüz bulunmamaktadır. Ancak biyoteknoloji, hücre kültürü ve gıda teknolojileri alanında faaliyet gösteren start-up'lar ve üniversite araştırma merkezleri bu alana ilgi göstermeye başlamıştır. Türkiye'nin güçlü tarım ve gıda sanayisi altyapısı, genç girişimci ekosistemi ve stratejik coğrafi konumu dikkate alındığında, yapay et teknolojilerinde bölgesel bir üretim ve Ar-Ge merkezi olma potansiyeli bulunmaktadır.

Bunun için hem kamu hem de özel sektör yatırımlarının teşvik edilmesi kritik öneme sahiptir.

2.3. Tedarik Zinciri

Yapay etin endüstriyel ölçekte üretimi, mevcut gıda tedarik zincirinde köklü değişiklikler gerektirmektedir. Geleneksel et üretimi; yem bitkileri, hayvancılık, kesimhaneler ve soğuk zincir lojistiği gibi aşamalardan oluşurken, yapay et üretimi biyoteknoloji, malzeme bilimi ve mühendislik tabanlı yeni bir tedarik zinciri modeli ortaya koymaktadır (Benussi ve Samoggia, 2025). Bu zincir, hücre kaynağından ürünün işlenmesi ve kalite kontrolüne kadar birçok aşamayı kapsayan karmaşık ve birbirine bağlı bir ağıdır (Albrecht ve ark., 2024; Lanzoni ve ark., 2024).

Yapay et üretimi, canlı hayvanlardan alınan küçük biyopsilerle elde edilen hücrelerle başlamaktadır. Bu hücreler arasında yetişkin kök hücreler, embriyonik kök hücreler, indüklenmiş pluripotent kök hücreler ve immortalize edilmiş hücre hatları yer almaktadır. Her hücre tipi büyüme potansiyeli, farklılaşma kapasitesi ve ölçeklenebilirlik açısından farklı avantaj ve sınırlılıklar taşımaktadır (Melzener ve ark., 2021). Hücre bankalarının kullanımı, tekrar tekrar hayvan biyopsisi yapılmasına olan ihtiyacı azaltarak hem etik hem de lojistik açıdan avantaj sağlamaktadır (Jara ve ark., 2023). Ancak bu hücrelerin uzun vadeli korunması, gelişmiş kriyoprezervasyon ve kalite kontrol sistemleri gerektirmektedir.

Hücrelerin çoğaltılması için kullanılan besi ortamı, tedarik zincirinin en kritik girdilerinden biridir. Geleneksel olarak fetal dana serumu (FBS) kullanılan bu süreçte, maliyet ve etik sorunlar nedeniyle serumdan bağımsız ve kimyasal olarak tanımlanmış ortamlara geçiş yapılmaktadır (Messmer ve ark., 2022). Buna rağmen, besi ortamı maliyetleri hâlen toplam değişken giderlerin %50'sine kadar çıkabilmektedir (Quek ve ark., 2024). Bu durum, yapay etin ekonomik üretiminin önündeki en büyük engellerden biri olarak görülmektedir.

Biyoreaktörler, yapay et üretiminde hücrelerin kontrollü koşullarda çoğaltılmasını sağlayan temel altyapıdır. Karıştırmalı tank biyoreaktörler yaygın olarak kullanılmakta, mikrotaşıyıcı tabanlı sistemler hücre yoğunluğunu artırmakta, perfüzyon biyoreaktörleri ise sürekli besin akışı ve atık uzaklaştırma imkânı sunmaktadır (Huang ve ark., 2018; Porto de Souza Vandenberghe ve ark., 2024). Ancak ölçek büyüdükçe biyoreaktörlerde türbülans artmakta, bu da hücreler üzerinde kesme kuvveti oluşturarak büyüme hızını düşürmekte ve hücre ölümünü artırmaktadır (Hope ve ark., 2021; Nienow, 2021). Ayrıca oksijen ve besin transferi, süreç kontrolü ve hücre hattı stabilitesinin korunması gibi sorunlar da ölçeklenebilirliği sınırlamaktadır (Kirsch ve ark., 2023).

Scaffold (iskelet) materyalleri, hücrelerin tutunarak büyümesini ve etin doku benzeri yapısının oluşmasını sağlamaktadır. Geleneksel olarak kolajen ve jelatin gibi doğal materyaller kullanılsa da, bunlar etik ve sürdürülebilirlik açısından sorunludur (Seah ve ark., 2022). Güncel araştırmalar, bitki bazlı polimerler, mantar miselyumu ve rekombinant proteinler gibi hayvansal olmayan alternatiflere odaklanmaktadır (Gordon ve ark., 2025; Park ve ark., 2025). Ayrıca 3D biyobaskı ve nanoteknoloji tabanlı çözümler, daha gerçekçi doku yapılarının elde edilmesine imkân tanımaktadır (DeSantis ve ark., 2024). Ancak bu materyallerin gıda sınıfı ölçekli üretimi hâlen sınırlıdır ve tedarik zincirinde darboğaz oluşturmaktadır (Moslemy ve ark., 2023).

Yapay et tedarik zinciri, çok sayıda farklı girdinin (besi ortamı bileşenleri, scaffold materyalleri, biyoreaktör ekipmanları) farklı tedarikçilerden sağlanması nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu durum lojistik koordinasyonu zorlaştırmakta ve maliyetleri artırmaktadır (Stephens ve ark., 2019). Industry 4.0 teknolojileri (IoT, yapay zekâ, otomasyon) bu süreci daha verimli hale getirmek için kullanılmaktadır (Kamalapuram ve Choudhury, 2024).

Regülasyon süreçleri de tedarik zincirinin kritik bir parçasıdır. Singapur'un Eat Just ile iş birliği yaparak dünyada ilk kez yapay ete onay vermesi, bilim-politika-endüstri iş birliğinin önemini göstermektedir (Stevens ve Ruperti, 2024). Ancak küresel ölçekte regülasyon çerçeveleri hâlen parçalıdır ve bu durum uluslararası tedarik zincirinde belirsizliğe neden olmaktadır (Gu ve ark., 2023).

Tüketici kabulü de zincirin son halkasıdır. Yapay etin güvenli, besleyici ve geleneksel etten ayırt edilemeyecek tat ve dokuya sahip olması, pazara entegrasyon için kritik öneme sahiptir (Bukachi ve ark., 2021; Skripnuk ve ark., 2021). Ayrıca helal/kosher gibi dini değerlendirmeler de tedarik zincirinin kültürel boyutunu şekillendirmektedir (Burhanuddin ve ark., 2023; Kashim ve ark., 2023).

Sonuç olarak, yapay etin tedarik zinciri, geleneksel etten tamamen farklı bir ekosistem ortaya koymaktadır. Hücre kaynağı, besi ortamı, biyoreaktörler ve scaffold materyalleri gibi yeni girdiler, yüksek maliyetler ve sınırlı tedarikçi sayısı nedeniyle kritik darboğazlar oluşturmaktadır. Lojistik koordinasyon, regülasyon süreçleri ve tüketici kabulü de zincirin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, teknolojik inovasyon, tedarik zinciri optimizasyonu ve politika desteği birlikte ele alınmadıkça yapay etin ölçeklenebilir ve rekabetçi bir ürün haline gelmesi mümkün görünmemektedir.

2.4. İstihdam ve Kırsal Ekonomi Üzerindeki Etkiler

2.4.1. Fırsatlar

Yapay etin yaygınlaşması, kırsal üreticiler ve hayvancılıkla geçimini sağlayan topluluklar için hem fırsatlar hem de tehditler barındırmaktadır (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021). Geleneksel hayvancılık sektörü, yem üretiminden hayvan yetiştiriciliğine, kesimhanelerden lojistik ve perakendeye kadar geniş bir istihdam alanı sağlamaktadır (Herrero ve ark., 2009). Bu nedenle yapay etin ölçeklenmesi, özellikle kırsal bölgelerde hayvancılıkla geçinen üreticiler için önemli bir dönüşüm anlamına gelmektedir (Santo ve ark., 2020; Stephens ve ark., 2018).

Yapay et üretimi için gerekli olan besi ortamı bileşenleri, büyüme faktörleri ve scaffold materyalleri tarımsal ürünlerden elde edilebilmektedir. Örneğin, şeker pancarı, arpa, mısır, soya ve bezelye gibi ürünler, hücre kültürü ortamlarının hammaddesi olarak kullanılabilir. Bu durum, bazı çiftçiler için yeni pazar fırsatları sağlayabilir (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021). Ayrıca, yapay et üretiminde kullanılan büyüme faktörlerinin ve besi ortamlarının tarımsal kaynaklardan elde edilmesi, kırsal üreticilerin bu yeni değer zincirine entegre olabilmelerini mümkün kılmaktadır.

Hayvancılıkla uğraşan üreticiler açısından da belirli fırsatlar söz konusudur. Yapay et üretimi, başlangıçta canlı hayvanlardan alınan hücrelere dayandığı için, bazı çiftçiler veya yetiştiriciler genetik materyal sağlayıcı olarak bu ekosisteme dahil olabilir. Özellikle yüksek değerli ırklar veya coğrafi olarak özgün hayvan türleri, hücre kaynağı olarak tercih edilebilir. Örneğin, Japonya’da Wagyu sığırlarından alınan hücrelerle yapay et üretimi üzerine girişimler bulunmaktadır. Ancak uzun vadede hücre hatlarının ölümsüzleştirilmesi (immortalizasyon) teknolojisinin gelişmesiyle, bu fırsatın yalnızca sınırlı sayıda üreticiye fayda sağlayacağı öngörülmektedir (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Bir diğer olasılık, biyoreaktörlerin kırsal alanlarda veya çiftliklerde kurulmasıdır. Yapay et üretiminde kullanılan biyoreaktörler farklı ölçeklerde tasarlanabildiği için, gelecekte küçük veya orta ölçekli çiftliklerde de üretim yapılması mümkün olabilir. Bu model, kendi yoğurdunu üreten süt çiftliklerine veya butik bira üreticilerine benzetilmektedir. Böyle bir senaryo, kırsal üreticilerin kendi çiftliklerinde küçük ölçekli yapay et üretimi yaparak doğrudan tüketiciye ulaşmalarını sağlayabilir. Ancak bu modelin uygulanabilirliği konusunda görüşler farklıdır; bazı araştırmacılar küçük ölçekli biyoreaktörlerin maliyet ve teknik bilgi gereksinimleri nedeniyle çiftçiler için erişilebilir olmayacağını savunmaktadır (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Yapay et üretim tesisleri, kırsal bölgelerde yeni istihdam fırsatları oluşturma potansiyeline sahiptir. Büyük ölçekli bir yapay et sektörü modeli, geleneksel tarım bölgelerinde konumlanabilecek üretim tesislerini içerebilir. Örneğin, Maple Leaf yakın zamanda Indiana'da 310 milyon dolarlık bir tesis inşa etmiştir. Benzer şekilde, biyoreaktörlerin şehir merkezleri yerine kırsal alanlarda kurulması da mümkündür. Bu tür tesislerin kırsal topluluklarda konumlandırılması, girdi ürünlerine yakınlık sağlayarak tedarik zincirinde taşıma maliyetlerini azaltabilir. Kırsal bölgelerde kurulacak yapay et tesisleri çok sayıda iş sağlayabilse de bazı araştırmalar bu tesislerin hayvansal et işleme tesislerine kıyasla daha fazla otomasyona sahip olduğunu ve bu nedenle daha az iş imkânı sunduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, yapay et üretim tesislerinde sağlanacak istihdam, mezbahalarda çalışan işçiler için daha güvenli ve daha insani koşullar sunabilir. Zira mezbahalarda çalışma, düşük ücret, ağır çalışma koşulları ve yüksek iş kazası riski nedeniyle en zor ve tehlikeli işlerden biri olarak görülmektedir. Buna karşılık yapay et üretim tesisleri, daha güvenli çalışma ortamları, daha yüksek standartlar ve daha fazla fırsat sağlayarak kırsal iş gücü için önemli bir iyileşme anlamına gelebilir (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

2.4.2. Tehditler

Yapay etin kırsal üreticiler ve hayvancılık sektörü için doğrudan bir tehdit oluşturup oluşturmadığı, bu teknolojilerin ölçeklenme hızına ve mevcut hayvansal et üretimini ne ölçüde ikame edeceğine bağlıdır. Çoğu uzman, yakın gelecekte hayvansal et tüketiminden yapay ete tam bir geçişin olasılık dışı olduğunu, yapay etin esasen artan küresel protein talebini karşılayacağını ve mevcut talebi dramatik biçimde azaltmayacağını öne sürmektedir. Bu nedenle, geleneksel hayvancılıkla uğraşan üreticilerin kısa vadede ciddi ekonomik kayıplar yaşayacağına dair endişeler abartılı görülmektedir. Ayrıca, olası bir geçişin ani değil, on yıllara yayılan kademeli bir süreç olacağı vurgulanmaktadır (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Bununla birlikte, yapay etin yaygınlaşması kırsal topluluklar için bazı riskler barındırmaktadır. Tarımda konsolidasyon eğilimi, yani küçük çiftliklerin daha büyük işletmeler tarafından yutulması, mevcut kırılğanlıkları artırabilir. Özellikle süt endüstrisinde düşen kâr marjları ve kapanan çiftlikler bu sürecin örnekleri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, ABD'de hayvansal tarımın büyüklüğü göz önüne alındığında, talepteki küçük bir düşüş bile gelir ve geçim kaynakları açısından büyük mutlak etkilere yol açabilir. Nitekim AT Kearney'nin 2040 yılına kadar tüketilen etin yarısından azının hayvanlardan geleceğini öngören raporu, üreticiler arasında risk algısını artırmıştır (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Hayvancılık sektörü üzerindeki olası etkiler, hayvan türlerine ve üretim modellerine göre farklılık göstermektedir. Küçük ölçekli sığır yetiştiricileri genellikle ek gelir kaynaklarına sahip oldukları için yapay etin yaygınlaşmasından görece daha az etkilenebilir. Buna karşılık, büyük ölçekli besi işletmeleri daha kırılgan bir konumdadır; çünkü üretimlerini tamamen et piyasasına bağımlı olarak sürdürmektedirler. En yüksek risk ise tavuk ve domuz üreticilerinde görülmektedir. Bu üreticilerin büyük bir kısmı, dikey entegre sistemlerde faaliyet gösteren çok uluslu şirketlerle yaptıkları sözleşmelere bağlıdır. Söz konusu şirketler (örneğin Cargill, Tyson) yapay et sektörüne yatırım yaparak iş modellerini hızla uyarlayabilecek kapasiteye sahipken, sözleşmeli çiftçilerin alternatif üretim seçenekleri oldukça sınırlıdır. Bu durum, özellikle borç yükü altındaki küçük üreticiler için ciddi bir kırılganlığa neden olmaktadır (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Son olarak, kırsal topluluklar açısından da riskler söz konusudur. Yapay et üretiminin yerleştirilmiş bir model izlemesi mümkün olsa da biyoreaktör tesislerinin kentsel alanlara yakın kurulması da olasıdır. Şirketler, ürünlerin taşıma maliyetlerini azaltmak için tesislerini şehir merkezlerine yakın kurmayı tercih edebilir. Ayrıca, iş imkânı sağlamak amacıyla eski sanayi bölgeleri de tercih edilebilir. Çok kırsal bölgelerde ise gerekli altyapı ve ağların eksikliği, tesislerin buralarda kurulmasını zorlaştırabilir. Bu durumda, et üretimi kırsal topluluklardan koparılabilir ve bu topluluklar yeni sektörlerden doğacak fırsatlardan mahrum kalabilir (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Genel olarak değerlendirildiğinde, yapay etin kırsal ekonomi ve istihdam üzerindeki etkileri çift yönlüdür. Bir yandan tarımsal üreticiler için yeni pazar fırsatları, biyoteknoloji tabanlı iş alanları ve daha güvenli çalışma koşulları sağlama potansiyeli taşıırken; diğer yandan geleneksel hayvancılığa bağımlı üreticiler için gelir kaybı, sözleşmeli çiftçiler için kırılganlık ve kırsal toplulukların yeni sektörlerden dışlanma riski söz konusudur. Bu nedenle, politika yapıcılarının “adil geçiş” (just transition) politikaları geliştirmesi, kırsal üreticilerin bu dönüşümden dışlanmaması açısından kritik öneme sahiptir. Türkiye açısından bakıldığında, güçlü tarım ve gıda sanayisi altyapısı ile genç girişimci ekosistemi, yapay et teknolojilerinde fırsat oluşturabilir; ancak kırsal bölgelerdeki hayvancılık temelli geçim kaynaklarının korunması için destek mekanizmaları ve yeniden beceri kazandırma programları hayati olacaktır.

2.4.3. Farklı Aktörlerin Potansiyel Roller

Yapay etin kırsal ekonomi ve istihdam üzerindeki etkilerinin yönetilmesi yalnızca özel sektörün çabalarıyla sınırlı değildir. Üniversiteler, araştırma kuruluşları, devlet kurumları ve sivil toplum kuruluşları da bu dönüşüm sürecinde kritik roller üstlenebilir. Bu aktörlerin iş

birliği, fırsatların en üst düzeye çıkarılması ve tehditlerin en aza indirilmesi açısından stratejik önem taşımaktadır.

Üniversiteler ve araştırma kurumları, yapay et sektörünün teknik ve sosyo-ekonomik zorluklarının aşılmasında önemli bir rol oynayabilir. Hücre kültürü ortamları, scaffold teknolojileri ve biyoreaktör optimizasyonu gibi alanlarda yürütülecek Ar-Ge faaliyetleri, sektörün ölçeklenebilirliğini hızlandırabilir (Post ve ark., 2020). Bunun yanı sıra, sosyal bilim araştırmaları da hayvansal tarıma dayalı bir protein sisteminden yapay etin daha büyük rol oynadığı bir sisteme geçişin ekonomik ve toplumsal etkilerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle “adil geçiş” (just transition) süreçlerini destekleyecek sistematik bilgi üretimi, kırsal üreticilerin bu dönüşümden dışlanmaması için gereklidir. Ayrıca, tarımsal yayım (extension) hizmetleri aracılığıyla çiftçilerin ürün geçişlerini desteklemek de üniversitelerin katkı sağlayabileceği bir diğer alandır (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Devlet kurumları, yapay et sektörünün gelişimini kolaylaştıracak düzenleyici ve finansal araçlara sahiptir. Öncelikle, etiketleme ve denetim süreçlerinde sağlanacak düzenleyici netlik, ürünlerin pazara girişini hızlandırabilir. Kamu fonları, özel sektörün yavaş ilerleyebileceği alanlarda (örneğin açık kaynak teknolojiler, gıda sınıfı besi ortamı geliştirilmesi) kritik destek sağlayabilir. Ayrıca, hayvansal tarıma verilen sübvansiyonların yeniden düzenlenmesi, yapay et şirketleri için daha adil bir rekabet ortamı sağlayabilir. Devletler aynı zamanda kırsal üreticiler için borç affı, kayıpların telafisi ve yeniden eğitim programları gibi adil geçiş politikaları uygulayarak kırsal toplulukların bu dönüşümden olumsuz etkilenmesini önleyebilir. Son olarak, üretim tesislerinin dezavantajlı bölgelerde kurulmasını teşvik ederek istihdam sağlanması da devletlerin üstlenebileceği önemli rollerden biridir (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Sivil Toplum Kuruluşları (STK’lar), yapay et sektörünün gelişiminde iletişim, savunuculuk ve farkındalık oluşturma alanlarında tamamlayıcı roller üstlenebilir. Çiftçiler, hayvancılar ve sektör temsilcileri arasında diyalog ortamı oluşturarak, özellikle etiketleme gibi politik açıdan hassas konularda yapıcı tartışmaların yürütülmesine katkı sağlayabilirler. Ayrıca, çiftçilerin üretim modelleri arasında geçiş yaparken yaşadıkları boşluk dönemlerinde yeniden eğitim ve geçiş maliyetlerinin sübvansiyon edilmesi gibi destekler sunabilirler. Bunun yanı sıra, adil rekabet koşullarının sağlanması için politika ve düzenleme süreçlerinde savunuculuk yapabilirler. Good Food Institute bu alanda öne çıkan bir örnek olarak gösterilmektedir. Son olarak, STK’lar kırsal topluluklarda eğitim ve farkındalık faaliyetleri yürüterek, özellikle gençlerin yapay et sektöründe istihdam edilebilmeleri için gerekli becerileri kazanmalarına katkı sağlayabilir (Newton ve Blaustein-Rejto, 2021).

Sonuç olarak, yapay etin kırsal ekonomi ve istihdam üzerindeki etkilerinin yönetilmesi çok aktörlü bir yaklaşım gerektirmektedir. Üniversiteler ve araştırma kuruluşları bilgi üretimi ve teknoloji geliştirme süreçlerinde, devlet kurumları düzenleyici çerçeve ve adil geçiş politikalarında, STK'lar ise iletişim, savunuculuk ve farkındalık alanlarında kritik roller üstlenebilir. Bu aktörlerin iş birliği, yapay etin sunduğu fırsatların kırsal üreticiler için erişilebilir hale gelmesini ve olası tehditlerin en aza indirilmesini sağlayacaktır.

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

3. ÇEVRESEL ETKİLER

Yapay etin çevresel etkileri, bu teknolojinin gelecekteki sürdürülebilirlik potansiyelini belirleyecek en kritik faktörlerden biridir. Geleneksel hayvancılık, yüksek sera gazı emisyonları, yoğun su ve arazi kullanımı, atık yönetimi sorunları ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki baskısı nedeniyle uzun süredir eleştirilmektedir. Bu bağlamda yapay et, çevresel yükleri azaltabilecek bir alternatif olarak sunulmaktadır. Ancak mevcut bilimsel literatür, yapay etin çevresel performansına dair oldukça belirsiz, çelişkili ve senaryoya bağlı sonuçlar ortaya koymaktadır (Chriki ve Hocquette, 2020; Hocquette ve ark., 2025; Post ve ark., 2020). Dolayısıyla, yapay etin çevresel değerlendirmesinde yalnızca potansiyel avantajlara değil, aynı zamanda metodolojik sınırlılıklara, veri eksikliklerine ve uzun vadeli etkilerine de dikkat edilmesi gerekmektedir.

3.1. Su ve Arazi Kullanımı

Su kullanımı, yapay etin çevresel etkilerinin tartışıldığı temel konulardan biridir. Geleneksel sığır eti üretiminde sıkça dile getirilen “1 kg et için 15.000 litre su” ifadesi yanıltıcıdır; zira bu miktarın %95’i yağış ve evapotranspirasyon yoluyla doğal döngüde kullanılan “sanal su”dur. Fiilî tüketim miktarı ise 550–700 L/kg aralığındadır (Doreau ve Corson, 2017; Hocquette ve ark., 2025). Tavuk eti için bu değer 313 L/kg, domuz eti için 459 L/kg’dır. Yapay et için ilk modellemeler 367–521 L/kg aralığında bir tüketim öngörmekte olup (Tuomisto ve Teixeira de Mattos, 2011), bu değer sığır etiyle benzer, ancak tavuk ve domuz etinden daha yüksek bir su ayak izine işaret etmektedir.

Bununla birlikte, yalnızca su miktarı değil, su kalitesi ve atık yönetimi boyutu da kritik önemdedir. Yapay et üretiminde kullanılan kültür ortamı; amino asitler, vitaminler, büyüme faktörleri ve hormonlar gibi yüksek derecede işlenmiş bileşenlerden oluşmakta, bu bileşenlerin üretim süreçlerinden kaynaklanan kimyasal atıklar çevresel riskleri artırabilmektedir. Özellikle farmasötik saflıkta büyüme ortamı üretiminde kullanılan solventler, antibiyotikler ve sentetik katkıların atık suya karışması ciddi tehditler doğurabilmektedir. Bu durum, yapay et üretiminde suyun kalitesel etkilerini daha da önemli hale getirmektedir(Chriki ve Hocquette, 2020; Hocquette ve ark., 2025).

Arazi kullanımı açısından bakıldığında, yapay etin doğrudan hayvancılığa göre çok daha az alan gerektirdiği görülmektedir. Ancak hayvancılığın yararlandığı arazilerin büyük kısmı tarıma elverişli olmayan otlaklardan oluşmaktadır (Mottet ve ark., 2017). Dolayısıyla bu alanların hayvancılık dışı kalması, kırsal peyzajın değişmesine ve birtakım ekosistem hizmetlerinin ortadan kalkmasına yol açabilir. Bu hizmetler arasında biyolojik çeşitliliğin

korunması, mera ekosistemlerinin sürdürülmesi ve kırsal istihdamın desteklenmesi sayılabilir (Chriki ve Hocquette, 2020).

Ayrıca, hayvancılık yalnızca gıda üretiminde değil; otlakların korunması, toprak karbon depolaması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi ve kırsal nüfusun devamlılığı açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Örneğin, ruminant hayvanların otlatma faaliyetleri birçok bölgede bitki çeşitliliğini korumakta; hayvancılık aynı zamanda kırsal ekonominin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Hocquette ve ark., 2025).

Dolayısıyla yapay etin arazi kullanımındaki avantajı yalnızca hektar bazında ölçülen bir kazanç olarak değil; ekosistem hizmetleri, karbon depolama ve kırsal kalkınma üzerindeki etkiler çerçevesinde bütüncül olarak değerlendirilmelidir.

3.2. Karbon Ayak İzi ve İklim Değişikliği

Yapay etin sera gazı emisyonları konusunda literatürde farklı ve çoğu zaman çelişkili sonuçlar mevcuttur. Mattick ve ark. (2015), yapay etin sera gazı emisyonlarının sığır etinden düşük; ancak tavuk ve domuz etinden yüksek olabileceğini belirtmektedir. Smetana ve ark. (2015) yüksek enerji talebi nedeniyle yapay etin bazı senaryolarda en yüksek çevresel etkiye sahip protein kaynağı olduğunu saptamıştır. Lynch and Pierrehumbert (2019) ise uzun vadede yapay et üretiminin iklim açısından avantajlı olmayabileceğini, zira ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının metana kıyasla atmosferde çok daha uzun süre biriktiğini vurgulamaktadır.

Benzer şekilde Chriki and Hocquette (2020), ruminant hayvancılığında ortaya çıkan metanın kısa ömürlü olmasına karşın, yapay ette baskın olan CO₂ emisyonlarının çok daha kalıcı bir ısınma etkisi sağladığını ifade etmektedir.

Son dönemde yapılan çalışmalar bu belirsizliği daha da görünür kılmıştır. Yapay etin karbon ayak izi kullanılan büyüme ortamına bağlı olarak 12–1508 kg CO₂e/kg arasında değişebilmektedir. Bu değer, bazı senaryolarda sığır etinden %80 daha düşük olabilirken, bazı senaryolarda 25 kat daha yüksek çıkabilmektedir (Risner ve ark., 2024).

Rodríguez Escobar ve ark. (2021) ise mevcut yaşam döngüsü analizlerinde büyüme faktörleri üretimi, kültür ortamı geri dönüşümü ve biyoreaktör temizliği gibi kritik adımların çoğu zaman dışarıda bırakıldığını; bu nedenle sonuçların güvenilirliğinin düşük olduğunu vurgulamaktadır. Bu eksiklikler, yapay etin karbon ayak izi üzerine yapılan çalışmalarda neden birbirinden çok farklı sonuçlar elde edildiğini açıklamaktadır.

3.3. Enerji Tüketimi ve Kaynak Verimliliği

Yapay et üretiminde en büyük çevresel yükün yüksek enerji tüketiminden kaynaklandığı bilinmektedir. Hücrelerin biyoreaktörlerde çoğaltılması, sıcaklık kontrolü, sterilizasyon ve kültür ortamı üretimi yoğun enerji talebi oluşturmaktadır (Hocquette ve ark., 2025).

Risner ve ark. (2024), enerji tüketiminin senaryolara göre 14–1706 MJ/kg arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Özellikle farmasötik saflıkta büyüme ortamı kullanılan senaryolarda enerji tüketiminin dramatik biçimde arttığı görülmektedir.

Rodríguez Escobar ve ark. (2021), enerji tüketimi hesaplamalarında sistem sınırlarının (biyoreaktör temizliği, kültür ortamı geri dönüşümü, altyapı dahil edilmesi gibi) çoğu zaman dikkate alınmadığını, bu nedenle mevcut sonuçların eksik olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca kullanılan enerji kaynağı (fosil veya yenilenebilir) sonuçlar üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Nitekim 2021’de Hollanda merkezli CE Delft tarafından yayımlanan rapor, yenilenebilir enerji kullanımının aynı üretim süreçlerinde karbon ayak izini beş kata kadar azaltabildiğini göstermiştir.

3.4. Atık Yönetimi ve Çevresel Riskler

Yapay et üretiminde kullanılan kültür ortamları; amino asitler, vitaminler, hormonlar ve büyüme faktörleri gibi bileşenleri içerir. Bu bileşenlerin üretim ve kullanım süreçlerinde ortaya çıkan yan ürünler ve kimyasal atıklar, çevre açısından risk taşımaktadır (Myers ve ark., 2023).

Risner ve ark. (2024), özellikle antibiyotik içeren büyüme ortamlarının (örneğin Beefy-9) çevresel etkileri 100 kata kadar artırabileceğini ortaya koymuştur. Chriki and Hocquette (2020) de büyüme faktörleri ve hormon üretiminde kullanılan kimyasal süreçlerin atık yönetimi bakımından ciddi riskler barındırdığını belirtmektedir.

Rodríguez Escobar ve ark. (2021) ise mevcut yaşam döngüsü analizlerinde atık su arıtımı, kültür ortamı geri dönüşümü veya scaffold geri kazanımı gibi kritik süreçlerin dahil edilmediğini ve bu nedenle çevresel profilin eksik kaldığını göstermektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak değerlendirmelerde söz konusu süreçlerin mutlaka hesaba katılması gerektiği ifade edilmektedir.

Ayrıca biyoteknoloji endüstrilerinde gözlemlendiği gibi, biyoreaktör sterilizasyonunda kullanılan kimyasallar (ör. sodyum hipoklorit, etanol, asidik çözeltiler) ve tek kullanımlık biyoreaktör torbalarının plastik atıkları da ciddi çevresel yük oluşturabilir. Bu tür atıkların geri dönüşümü veya güvenli bertarafı, yapay etin çevresel sürdürülebilirliği açısından kritik olacaktır.

3.5. Yaşam Döngüsü Analizleri ve Karşılaştırmalı Çalışmalar

Yapay et üzerine yapılan yaşam döngüsü analizleri, sonuçların oldukça değişken olduğunu göstermektedir. Tuomisto and Teixeira de Mattos (2011), Tuomisto ve ark. (2014), Smetana ve ark. (2015) ve Mattick ve ark. (2015) gibi erken dönem çalışmalar, farklı sistem sınırları ve varsayımlar nedeniyle farklı sonuçlara ulaşmıştır.

Rodríguez Escobar ve ark. (2021), bu farklılıkların temel nedeninin eksik yaşam döngüsü envanterleri olduğunu, özellikle büyüme faktörleri üretimi, kültür ortamı geri dönüşümü, biyoreaktör temizliği ve atık su arıtımı gibi kritik süreçlerin dahil edilmediğini belirtmektedir. Dolayısıyla mevcut çalışmalar “ön değerlendirme” niteliğinde görülmelidir, kesin sonuçlar ancak ileride daha kapsamlı envanterlerle elde edilebilecektir.

Öte yandan Risner ve ark. (2024), ilk kez teknik-ekonomik analiz (TEA) verilerine dayalı bir yaklaşım ile yapay etin çevresel etkilerini değerlendirmiş ve sonuçların büyük ölçüde büyüme ortamı saflığına bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

Bu farklı değerlendirmelerin bütüncül şekilde görülmesi amacıyla, yapay etin su, arazi, karbon ayak izi ve enerji tüketimi göstergeleri; geleneksel et türleriyle birlikte Tablo 3’te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 3. Yapay Et ve Geleneksel Etin Çevresel Göstergeler Açısından Karşılaştırılması

Göstergeler	Sığır Eti	Domuz Eti	Tavuk Eti	Yapay Et (Erken modellemeler)	Yapay Et
Su tüketimi (L/kg)	550–700	459	313	367–521	Belirsiz (kültür ortamına bağlı olarak çok değişiklik göstermektedir)
Arazi kullanımı	Çok yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
GHG emisyonu (kg CO ₂ e/kg) *	~60 (ortalama)	30–40	10–20	20–60	12–1508
Enerji tüketimi (MJ/kg)	30–60	20–40	10–20	26–33	14–1706

*Not: “kg CO₂e/kg”, bir kilogram ürün başına salınan sera gazı emisyonlarının karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) olarak ifade edildiği ölçü birimidir. Bu hesaplama, karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O) gibi farklı sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri dikkate alınarak, hepsinin etkisini ortak bir birimde göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yapay etin çevresel etkilerine ilişkin kesin bir yargıya varmak henüz mümkün değildir. Mevcut veriler, teknolojinin olgunlaşmamış olması nedeniyle oldukça geniş bir aralıkta sonuçlar ortaya koymaktadır. Çevresel performansı belirleyen en kritik faktörler; büyüme ortamının niteliği (özellikle amino asit ve büyüme faktörleri üretimi), kullanılan enerji kaynağı (fosil yakıt ya da yenilenebilir enerji) ve üretim

ölçeği/verimliliğidir. Eğer gıda veya yem kalitesinde büyüme ortamı kullanılır ve üretim süreçleri yenilenebilir enerjiyle desteklenirse, yapay etin sığır etine kıyasla çevresel açıdan daha avantajlı olabileceği öngörülmektedir. Buna karşılık farmasötik saflıkta büyüme ortamı kullanılan senaryolarda çevresel etkiler sığır etinden dahi yüksek olabilmektedir. Ayrıca hayvancılığın sağladığı ekosistem hizmetleri (ör. karbon depolama, toprak verimliliği, biyolojik çeşitlilik) yok sayıldığında, yapay etin avantajları olduğundan fazla gösterilme riski de bulunmaktadır (Chriki ve Hocquette, 2020).

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

4. TÜKETİCİ ALGISI VE KÜLTÜREL KABUL

Yapay etin başarısı yalnızca laboratuvar verimliliği veya maliyet hesaplarıyla değil, aynı zamanda toplumun bu ürünü nasıl algıladığı ile şekillenecektir. Gıda, biyolojik bir ihtiyaç olmanın ötesinde derin kültürel, psikolojik ve dini anlamlar taşımaktadır. Bu nedenle yapay etin toplum tarafından kabul görmesi, tüketici algısı, risk ve fayda algıları, kültürel değerler, dini hassasiyetler ve medya söylemleri gibi çok boyutlu dinamiklere bağlıdır. Yapay et, bir kısım tüketici için geleceğin sürdürülebilir ve etik gıdası olarak görülürken, bir diğer kesim tarafından ise “doğallıktan uzak, yapay ve güvensiz” bir ürün olarak algılanabilmektedir. Bu bölümde, yapay etin küresel tüketici algısı, çeşitli kültürel bağlamlarda kabul düzeyi ve Türkiye toplumundaki eğilimler detaylı olarak incelenecektir.

4.1. Tüketici Psikolojisi ve Algı Faktörleri

Yapay etin pazarda kabulü, temel olarak tüketicilerin psikolojik eğilimleri ve algıları tarafından belirlenmektedir. Mevcut araştırmalar, tüketicilerin önemli bir bölümünün yapay eti denemeye istekli olduğunu, ancak düzenli olarak tüketme konusunda daha temkinli yaklaştığını göstermektedir. Wilks and Phillips (2017) çalışmasında katılımcıların %65’inin yapay eti en az bir kez denemek istediği, fakat yalnızca üçte birinin düzenli olarak tüketeceğini ifade etmiştir. Benzer şekilde, ABD genelinde Aralık 2022’de gerçekleştirilen bir kamuoyu anketinde katılımcıların %45’i örnek sunulması halinde yapay eti denemeye sıcak bakarken, önceki yıllarda yapılan araştırmalarda bu oranın %60’ın üzerine çıkabildiği rapor edilmiştir (GFI, 2023). Bu bulgular, tüketicilerin meraktan kaynaklı yüksek bir “ilk deneme isteği” taşıdıklarını, ancak sürdürülebilir tüketim için daha güçlü ikna edici faktörlere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Demografik farklılıklar kabul düzeyinde kritik rol oynamaktadır. Çeşitli araştırmalarda erkeklerin, genç kuşakların, daha eğitimli ve şehirli bireylerin yapay ete daha olumlu yaklaştığı; buna karşın kadınların, ileri yaş gruplarının ve muhafazakâr bireylerin daha şüpheci davrandığı belirtilmektedir (Bryant ve Barnett, 2018; GFI, 2023). Bu noktada vegan ve vejetaryen tüketicilerin tavrı çelişkili bir görünüm sergilemektedir: etik potansiyeli kabul etmekle birlikte, yapay etin “et kültürünü sürdürme” riskini taşıdığını düşündükleri için ürünü tüketmekte isteksiz olabilmektedirler. Öte yandan, et tüketimini azaltmak isteyen omnivor ve fleksitaryen kesimler, yapay etin en yüksek kabul seviyesine ulaştığı tüketici segmentini temsil etmektedir.

Algıyı şekillendiren diğer faktörler arasında tat, fiyat, sağlık ve doğallık algısı öne çıkmaktadır. Yapay etin geleneksel etle aynı lezzeti ve dokuyu sunup sunamayacağı kritik bir konudur ve tüketicilerin önemli bir bölümü bu noktada çekimserdir (Tucker, 2014;

Verbeke ve ark., 2015). Fiyat da belirleyici rol oynamaktadır: Slade (2018) çalışması, fiyat düştükçe kabul seviyesinin yükseldiğini göstermektedir. Sağlık ve güvenlik algısı ise çelişkili görünmektedir. Örneğin GFI (2023) verilerine göre, tüketicilerin %55'i antibiyotiksiz, hormonsuz üretim argümanlarına olumlu bakarken, uzun vadeli sağlık riskleri konusundaki belirsizlikler kaygı oluşturmaya devam etmektedir.

“Doğallık” meselesi, tüketici algısındaki en güçlü engellerden biridir. Yapay et, “laboratuvar ürünü” ya da “Frankenfood” gibi olumsuz söylemlerle etiketlenmekte ve bu algılar ürüne mesafeli yaklaşımın güçlenmesine yol açmaktadır (Bryant ve Barnett, 2020; Laestadius, 2015). Bilgilendirme dilinin de algı üzerinde kritik etkisi vardır: ürünü “yüksek teknoloji” vurgusuyla çerçevelemek ilgiyi azaltırken, “konvansiyonel etle benzerlik” ya da “hijyenik koşullarda üretilmiş olması” gibi tanımlar tüketici güvenliğini artırmaktadır (Siegrist ve ark., 2018). GFI’nin 2023 verileri de bu noktayı desteklemektedir: sağlık ve hijyen (%55), çevresel faydalar (%47) ve hayvan refahı (%47) üzerine yapılan bilgilendirmeler, tüketicilerde ürüne yönelik olumlu algıyı güçlü biçimde artırmaktadır.

Sonuç olarak, tüketiciler yapay etin sunduğu etik ve çevresel faydalara ilgi duymakla birlikte, kalıcı tüketim davranışının gelişmesi için tat, fiyat ve sağlık konusundaki beklentilerin karşılanması gerektiği açıktır. Yaygın kabul için iletişim stratejilerinin özellikle “doğallık” ve “güven” algısı üzerinde yoğunlaşması kritik görünmektedir.

4.2. Küresel Kabul Düzeyleri (ABD, Avrupa, Asya)

Yapay etin küresel düzeyde kabulü incelendiğinde, bölgesel farklılıkların belirgin olduğu görülmektedir. ABD’de yapılan araştırmalar toplumun %30–40’ının yapay et kavramından haberdar olduğunu, ancak %10–30’unun konuya aşina olduğunu göstermektedir (GFI, 2023). ABD’de FDA–USDA tarafından yürütülen onay mekanizmaları tüketici güveni açısından kritik unsur olarak öne çıkmaktadır; nitekim katılımcıların %63’ü, ürün resmî kurumlarca onaylandığı takdirde güvenilir bulabileceğini ifade etmiştir. Demografik kırılımlarda genç kuşaklar, erkekler ve liberal eğilimli bireylerin daha olumlu, ileri yaş grupları ve muhafazakâr kesimlerin daha kuşkucu olduğu görülmektedir (GFI, 2023).

Avrupa’da kabul düzeyi genel olarak daha temkinlidir. Araştırmalar, “doğallık” vurgusunun tüketici kabulünü olumsuz etkilediğini, buna karşın konvansiyonel etle benzerliği öne çıkaran sunumların daha olumlu sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. ProVeg tarafından 2022’de yapılan ve GFI’nin 2023 raporunda aktarılan bir çalışmada, laboratuvar görsellerinin tüketici reddini artırdığı, iştah açıcı ve tanıdık görsellerin ise kabulü güçlendirdiği bulunmuştur (GFI, 2023). Görsel sunumun da kritik olduğu saptanmıştır: laboratuvar imgeleri ürünü reddetmeye yol açarken, iştah açıcı ve geleneksel ete benzer

görseller tüketicilerin ilgisini artırmaktadır. Avrupa’da genç nüfusun yapay et konusuna daha açık olduğu görülmektedir. Örneğin, Fransa’da 2022’de yapılan bir araştırmada 18–30 yaş arasındaki tüketicilerin %80’i yapay eti denemeye sıcak bakmıştır. Benzer şekilde, Akdeniz ülkeleri (İtalya, İspanya, Portekiz) genelinde yapılan araştırmalar katılımcıların yaklaşık üçte ikisinin ürünü denemeye istekli olduğunu ortaya koymuştur (Liu ve ark., 2023). Polonya’da yapılan bir çalışmada ise toplumun %63’ü yapay etten haberdar olduğunu, %54’ü de piyasaya sunulması halinde satın alabileceğini ifade etmiştir (Sikora ve Rzymski, 2023). Bu sonuçlar, Avrupa’da tüketici kabulünün ülkeden ülkeye farklılık gösterdiğini, ancak genç nesillerin ürünü daha olumlu yakaladığını ortaya koymaktadır.

Asya’da özellikle Singapur dikkat çekmektedir; burada yapay et kamu tüketimine resmî onay verilen ilk ülke konumundadır. Araştırmalar, tüketicilerin %71’inin yapay eti düzenli olarak tüketmeye istekli olduğunu göstermektedir (GFI, 2023). Yüksek kabulün ardında kültürel motivasyonların güçlü rol oynadığı belirtilmektedir. Singapur’un özgün kültürel dinamiği olan “kiasuism” (FOMO – fırsatı kaçırmama) davranışının yapay et talebini artırdığı aktarılmaktadır (Chong ve ark., 2022). Çin, Japonya ve Güney Kore’de yapılan araştırmalar da çevresel faydalar ve gıda güvenliği kaygılarının ilgiyi artırmasına rağmen tat, doğallık ve tazelik ekseninde kuşkların sürdüğünü göstermektedir (GFI, 2023).

Genel olarak küresel eğilim değerlendirildiğinde, ABD ve Avrupa’da farkındalık artsa da temkinli yaklaşım baskınken, Singapur gibi öncü Asya ülkelerinde regülasyonun sağladığı güven ve kültürel faktörler sayesinde daha hızlı bir kabulün şekillendiği görülmektedir. Farklılıkların temelinde kültürel değerler, sosyal normlar ve resmî kurumların sağladığı güven ortamı bulunmaktadır.

4.3. Türkiye’de Tüketici Eğilimleri

Türkiye’de yapay et konusundaki akademik araştırmalar henüz sınırlı sayıda olmakla birlikte, son yıllarda farklı örneklemeler üzerinde yürütülen çalışmalar tüketici algısı hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Bu araştırmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Türk tüketicilerinin yapay eti genel olarak merakla karşılamakla birlikte temkinli davrandıkları, düzenli tüketim konusunda ise düşük bir eğilim sergiledikleri görülmektedir.

Eser ve arkadaşlarının (2025) Türkiye genelinde 989 katılımcıyla yürüttüğü araştırma, yapay et algılarını dört ana eksende sınıflandırmıştır: “çevre, insan ve hayvan refahına katkılar”; “güvenlik ve sağlık”; “sosyal ve etik kaygılar” ve “doğallık algısı”. Çalışmada katılımcıların %63’ü yapay eti “doğal değil” olarak nitelendirirken, %54’ü ürünü güvenilir bulmamış ve %53,4’ü dinî açıdan sorunlu değerlendirmiştir. Katılımcıların %68’i ayrıca yapay etin geleneksel hayvancılık sektörüne zarar vereceğini belirtmiştir. Buna karşın hayvan refahı,

zoonotik hastalıkların önlenmesi ve çevresel faydalar gibi konularda belirli bir kesimin olumlu yaklaştığı da görülmektedir. Ancak genel eğilim, yapay etin mevcut haliyle geleneksel etin yerine geçemeyeceği yönündedir (Eser ve ark., 2025).

Baybars ve arkadaşlarının (2023) çalışması, tüketici davranışlarını et tüketim alışkanlıkları üzerinden analiz ederek önemli bir boyutu ortaya koymuştur. Bulgular, kırmızı etin Türkiye’de güçlü bir biçimde “doğal gereklilik” ve “sosyal norm” olarak algılandığını ortaya koymuştur. Bu durum, yapay etin kabulünü doğrudan olumsuz etkilemektedir. Çalışmaya katılan tüketiciler yapay eti etik, doğal, sağlıklı ya da güvenilir bulmamış; deneme isteği ise oldukça düşük kalmıştır. Demografik değişkenler tutumlarda belirgin bir farklılığa neden olmazken, ileri yaş gruplarında olumsuz algıların daha yoğun olduğu saptanmıştır (Baybars ve ark., 2023).

Öğrenci grupları üzerinde yapılan araştırmalar ise genç nüfusun yaklaşımını anlamak açısından önem taşımaktadır. Ede ve Yalçın’ın (2023) Beslenme ve Diyetetik bölümü öğrencileri üzerinde yaptığı çalışmada, katılımcıların %72,9’u merak nedeniyle yapay eti en az bir kez denemek istediklerini belirtmiştir. Ancak düzenli tüketim konusunda güçlü bir isteklilik ortaya çıkmamış, öğrencilerin yalnızca %15’i yapay eti gerçekçi bulurken, %43,6’sı ürünü kesinlikle tüketmeyeceğini ifade etmiştir. Katılımcıların %63,5’i yapay eti sağlıklı ve güvenli bulmadığını, %59,2’si ise Türk mutfağı için uygun ve sürdürülebilir olmadığını belirtmiştir. Bununla birlikte, öğrencilerin %72,9’unun yapay et araştırmalarının devlet tarafından desteklenmesini savunması dikkat çekici bir bulgudur (Ede ve Yalçın, 2023).

Benzer bir şekilde, Ekici ve arkadaşlarının (2022) Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencileriyle (n=240) yürüttüğü çalışmada, katılımcıların %80’inden fazlası in vitro et kavramını hiç duymadığını belirtmiştir. Buna rağmen, %17,1’i kesinlikle ve %31,7’si belki denemek istediğini söylemiştir. Ancak geleneksel etin yerine geçirme konusunda istek çok sınırlıdır; yalnızca %3,8 ikame etmeye tamamen sıcak bakarken, %39,1 kesinlikle karşı çıkmıştır. Araştırmada en güçlü olumsuz gerekçe ürünün tat ve görünüşü (%47,1) olurken, katılımcıların %17,3’ü etik, %6,2’si dinî sebeplerden dolayı denemeyeceğini belirtmiştir. Erkek öğrencilerin kadınlara göre denemeye daha istekli oldukları bulunmuştur. Genel olarak öğrenciler yapay eti merakla karşılamakla birlikte, sağlık, doğallık, tat ve güvenilirlik konularındaki kaygılar nedeniyle düzenli tüketim konusunda temkinli kalmaktadır (Ekici ve ark., 2022). Bu bulgular tabloya (Tablo 4) yansıtıldığında Türkiye’de yapay etin tüketici nezdindeki genel eğilimi daha net görülmektedir:

Tablo 4. Türkiye’de Yapay Et Tüketici Eğilimleri – Araştırmaların Karşılaştırması

Kriterler	Genel Kamuoyu (n=989) (Eser ve ark., 2025)	Genel Tüketiciler (n=417) (Baybars ve ark., 2023)	Beslenme ve Diyetetik Bölümü Öğrencileri (n=140) (Ede ve Yalçın, 2023)	Sağlık Bilimleri Öğrencileri (n=240) (Ekici ve ark., 2022)
Örneklem Profili	Türkiye geneli yetişkin katılımcılar	Çevrimiçi anket, genel tüketiciler	Beslenme ve Diyetetik öğrencileri (Burdur)	Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencileri (İstanbul)
Yapay eti deneme isteği	Orta (%30–40)	Düşük	Yüksek (%72,9 merak nedeniyle)	Orta (%17 kesin, %31 belki)
Düzenli tüketim niyeti	Düşük (%54 “yerine geçemez”)	Çok düşük (düzenli kullanım yok)	Düşük (%43,6 kesinlikle tüketmem)	Çok düşük (%3,8 olumlu; %39 ikameye karşı)
Doğallık algısı	%63 “doğal değil”	Doğallık eksikliği olumsuz algının ana nedeni	%59,2 “Türk mutfağına uygun değil”	Doğal ve çekici olmadığı algısı yaygın
Sağlık/güvenlik algısı	%54 güvenilir bulmuyor	Sağlık, tat ve güvenlik olumsuz değerlendiriliyor	%63,5 sağlıklı/güvenli bulmuyor	Tat/görünüş (%47,1), sağlık ve güven kaygısı yüksek
Etik/dinî kaygılar	%53,4 “dinî açıdan sorunlu”	“Etik değil” algısı baskın	%36,7 “dinî açıdan değerlendirilmesi gerek”	%17 etik, %6 dinî gerekçelerle reddetme
Çevre/hayvan refahı algısı	Orta düzey olumlu algı (%35–41)	Çevre ve refah kaygıları ikincil planda	%77,9 hayvancılıkta etik sorun görüyor ancak çözüm olarak görmüyor	Çevresel faydalar teorik olarak kabul ediliyor ama öncelikli değil
Politik beklentiler	Regülasyon ihtiyacı vurgulanıyor	Kültürel normlar kabulün önünde engel	%72,9 devlet desteklemeli görüşü	Bilgi eksikliğinin eğitimle giderilmesi gerektiği öneriliyor

4.4. Kültürel ve Dinî Faktörlerin Etkisi

Tüketici kabulünü şekillendiren unsurlardan biri de kültürel kimlikler ve dinî duyarlılıklardır. Burada, din ve kültürün tüketici tercihleri üzerindeki algısal etkileri ele alınmaktadır. Resmi dinî kurumların görüşleri, fetvalar ve helal/koşer değerlendirmeleri ise 6.3. başlığında ayrıca ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

Yapay etin tüketici nezdindeki kabulü yalnızca teknolojik veya ekonomik boyutlarla sınırlı değildir; kültürel normlar ve dinî hassasiyetler, bireylerin yeni bir gıda teknolojisine yaklaşımını doğrudan şekillendirmektedir. Bu bağlamda özellikle doğallık algısı, geleneksel yemek pratikleri ve dinî kurallara uygunluk meselesi, küresel ölçekte en güçlü bariyerler arasında görülmektedir.

Küresel düzlemde, kültürel faktörlerin en belirgin engel “doğallık ideolojisi”dir. Sistematiik bir inceleme, yapay etin birçok toplumda “laboratuvar ürünü”, “Frankenfood” ya da “suni gıda” olarak çerçeveselendiğini ve bunun güçlü bir mesafeye neden olduğunu göstermektedir (Bryant ve Barnett, 2018). Katılımcıların önemli bir kısmı yapay eti “gerçek” kabul etmemekte, bu nedenle de sağlık ve etik kaygılarını “doğal olmama” gerekçesine bağlamaktadır. Nitekim farklı kültürlerde yapılan anket ve odak grup çalışmalarında, “gerçek et–suni et” ikiliği katılımcıların değerlendirmelerinde temel çerçeveyi oluşturmuştur. Bu durum, tüketicide tiksinti ve yabancılaşma tepkilerini tetiklemektedir. Görselliğin de algıda kritik olduğu görülmektedir: laboratuvar imgeleriyle temsil edilen yapay et reddi artırırken, iştah açıcı ve tanıdık görseller kabul düzeyini yükseltmektedir. Ayrıca pek çok katılımcı yapay etin barbekü, aile sofraları ve dini/kültürel yeme ritüellerini zayıflatabileceğini dile getirmiş; bu, yapay etin toplumsal ve kültürel mirasla ilişkili bir tehdit olarak görülmesine yol açmıştır (Bryant, 2020).

Dini faktörler de farklı toplumlarda önemli rol oynamaktadır. Bryant’ın (2020) çalışması Yahudilik, İslam, Hinduizm ve Budizm bağlamında yapay et algısını incelemiş ve şu sonuçlara ulaşmıştır: Yahudilikte yapay etin koşer olup olmadığı sorusunun yanıtı, üretimde kullanılan hücrelerin kaynağına bağlıdır. Çoğu dini otorite, koşer kurallara uygun biçimde kesilmiş bir hayvandan alınan hücreler kullanıldığı takdirde ürünün koşer kabul edilebileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, ayrıntılı kurallara ilişkin tartışmalar sürmektedir. Özellikle kültürlenmiş etin süt ürünleriyle birlikte tüketilip tüketilemeyeceği veya kültürlenmiş domuz etinin koşer kabul edilip edilmeyeceği hususunda farklı görüşler bulunmaktadır. Dolayısıyla Yahudi dini çevrelerinde genel eğilim olumlu olmakla birlikte, uygulamadaki sınırlar konusunda henüz net bir görüş birliği oluşmamıştır. İslami açıdan, hücrelerin helal kesilmiş hayvandan alınması ve kültür ortamında kan veya hayvansal serum kullanılmaması durumunda yapay etin helal olabileceği ifade edilmektedir (Bryant, 2020; Hamdan ve ark., 2018). Nitekim anketlerde Müslümanların %50–60’ı kültürlenmiş sığır ve kuzu etini tüketebileceğini, buna karşın yalnızca %28’inin kültürlenmiş domuz etini olumlu karşıladığını belirtmiştir. Hinduizm’de ise ahimsa (zarar vermeme) ilkesi yapay etin kısmen olumlu algılanmasına yol açsa da inek kültür kutsallığı nedeniyle kültürlenmiş sığır eti reddedilmektedir. Budizm bağlamında ise, katılımcıların büyük bir kısmı (%60–80 arası)

çeşitli yapay et ürünlerine açık olduğunu ifade etmiştir. Bu veriler, dinî hassasiyetlerin tüketici niyeti üzerinde güçlü bir belirleyici olduğunu, fakat tek tip bir ret değil; farklı dinî gruplarda tür-temelli ayrımlara neden olduğunu göstermektedir (Bryant, 2020).

Türkiye özelinde hem kültürel hem de dinî faktörlerin belirgin biçimde öne çıktığı görülmektedir. Türkiye’de et, mutfak kültürünün merkezi bir unsurudur. Bayram sofralarından davet yemeklerine, kebab ve etli yemeklerin toplumsal kimlikteki yerine kadar kırmızı et, kültürel ritüellerin en kritik bileşenlerinden biridir. Yapay etin Türk mutfağına uyumsuz olduğu yönünde algılar özellikle genç tüketiciler arasında dahi oldukça yaygındır (Ede ve Yalçın, 2023). Ayrıca doğallık meselesi, Türkiye kamuoyunda diğer toplumlara benzer biçimde güçlü bir bariyer oluşturmaktadır.

Dinî algılarda ise belirgin bir çekince gözlenmektedir. Eser ve arkadaşlarının (2025) araştırmasında katılımcıların %53,4’ü yapay eti dinî açıdan sorunlu bulduğunu ifade etmiştir. Aynı şekilde Ede ve Yalçın’ın (2023) çalışmasında öğrencilerin %36,7’si yapay etin mutlaka dinî açıdan değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiş, Ekici ve arkadaşlarının (2022) araştırmasında ise katılımcıların %6,2’si yapay eti doğrudan dinî sebeplerle tüketmeyeceğini dile getirmiştir. Bu bulgular, Türkiye’de toplumsal kabulün dinî otoritelerin vereceği kararlara ve helal sertifikasyon süreçlerine doğrudan bağlı olacağını göstermektedir.

Sonuç itibarıyla, genel kültürel eğilimler ve Türkiye özelindeki veriler, yapay etin yaygın kabulünde kültürel ve dinî faktörlerin kritik bariyerlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Dünya ölçeğinde “doğallık ideolojisi” ve toplumsal yemek ritüelleri güçlü bir direnç unsuru iken, dinî bağlamda helal/koşer uyumluluğu en yaygın soru işaretini oluşturmaktadır. Türkiye’de ise bu genel eğilimler, hem mutfak kültürünün merkezi et rolü hem de helal hassasiyetleri nedeniyle daha yoğun biçimde hissedilmektedir. Bu nedenle yapay etin pazarda kabul görmesi için sadece teknolojik ve ekonomik argümanlarla değil, aynı zamanda kültürel değerler ve dinî inançlarla uyumlu bir iletişim çerçevesi geliştirilmesi zorunluluk arz etmektedir.

5. SAĞLIK VE GIDA GÜVENLİĞİ

Yapay etin yaygınlaşması açısından en kritik eşiklerden biri, ürünün sağlık ve gıda güvenliği perspektifinden değerlendirilmesidir. Yapay et, patojen kaynaklı kontaminasyon riskini azaltma ve üretim süreçlerinde hijyenik kontrol imkânları açısından fırsatlar sunabilir. Öte yandan, vitamin ve mineral eksiklikleri, olası alerjenite ve toksisite riskleri, üretimde kullanılan besi ortamları ve uzun dönem sağlık etkilerinin bilinmezliği bu ürünün güvenliğini tartışmalı kılmaktadır. Ayrıca, uluslararası regülasyonlar hâlen gelişim aşamasında olup farklı ülkelerde farklı uygulamaların varlığı, yapay etin küresel ölçekte standardizasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu bölümde besleyicilik değerleri, potansiyel risk unsurları, uluslararası gıda güvenliği standartları ve Türkiye'ye özgü regülasyon ihtiyaçları bütüncül bir çerçevede ele alınacaktır.

5.1. Besleyicilik Değeri ve Sağlık Etkileri

Yapay etin besleyicilik değerinin ve sağlık üzerindeki potansiyel etkilerinin değerlendirilmesi hem akademik hem sektörel hem de politika yapıcılar açısından kritik bir konudur. Geleneksel et, yüksek biyolojik değere sahip protein, esansiyel aminoasitler, vitamin B12 ve demir gibi mikrobeyinler açısından insan beslenmesinde temel bir kaynaktır (Demartini ve ark., 2022). Buna karşılık, yapay et geleneksel etin bütün besinsel avantajlarını şu an tam olarak karşılayabilen bir ürün değildir (Zandonadi ve ark., 2025).

Yapay etin protein yapısı, hücre kaynaklı üretim sayesinde geleneksel etle büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Ancak kullanılan hücre tipine ve besi ortamının bileşimine bağlı farklılıklar, aminoasit kompozisyonunda değişikliklere sebep olma potansiyeline sahiptir (Chriki ve Hocquette, 2020; Zandonadi ve ark., 2025). Bu durum, protein açısından karşılaştırmalı üstünlüğün geleneksel etten daha düşük olmayacağını, fakat üretim koşullarına göre çeşitlenebileceğini ortaya koymaktadır.

Bir diğer önemli boyut yağ asidi profilidir. Yapay etin öne çıkan avantajlarından biri, üretim aşamasında doymuş ve doymamış yağ asitlerinin oranlarının istenen biçimde ayarlanabilmesidir (Feddern ve ark., 2022; Zandonadi ve ark., 2025). Böylelikle, örneğin omega-3 katkısı ile kardiyovasküler sağlığa daha uygun yağ profili elde etmek mümkün olabilmektedir. Buna rağmen doymamış yağların fazlalığı, ürünün oksidatif stabilitesini azaltarak raf ömrü ve gıda güvenliği açısından yeni sorunlar doğurabilecektir (Chriki ve Hocquette, 2020).

Mikro besin öğeleri açısından ise durum daha karmaşıktır. Yapay ette vitamin B12, demir veya kreatin gibi bileşenlerin doğal olarak bulunmaması aydınlatılması gereken önemli bir konudur (Smith-Uchotski ve Wanjiu, 2022). Bu bileşenlerin eksikliği, zenginleştirme

(fortifikasyon) teknikleri ile bir ölçüde telafi edilebilse de biyo-yararlanımlarının geleneksel etteki kadar yüksek olup olmayacağı belirsizdir. Çünkü gerçek kas dokusunda bu unsurlar doğal biyolojik matrise gömülüken, yapay ette bu bağlanmalar doğal süreçlerden farklı gelişmektedir (Chriki ve Hocquette, 2020).

Yapay etin sağlık açısından avantajlı yönlerinden biri, geleneksel etlerde sık rastlanan bağırsak kökenli patojenler (*E. coli*, *Salmonella*, *Campylobacter*) ile bulaşma riskinin daha düşük olmasıdır (Stephens ve ark., 2018). Kontrollü laboratuvar süreçleri bu tehdidi azaltabilir. Öte yandan, üretimde antibiyotik kullanımı söz konusu olduğunda tüketici sağlığı açısından kalıntı riskleri gündeme gelmektedir (Chriki ve Hocquette, 2020). Bu nedenle, yapay etin daha güvenli bir alternatif olarak tüketiciye sunulabilmesi için antibiyotik kullanımına ilişkin şeffaflık kritik önemdedir.

Sağlık riski açısından bir diğer tartışma noktası, hücrelerin aşırı çoğaltılması süreçlerinden kaynaklanabilecek biyolojik düzensizlik ihtimalidir. Literatürde, hücre bölünmelerinin kanser benzeri mekanizmaları tetikleyebileceğine dair teorik kaygılar dile getirilmektedir (Chriki ve Hocquette, 2020). İnsan sağlığı üzerindeki uzun vadeli sonuçlar henüz bilimsel olarak ortaya konmamıştır, bu da yapay etin geniş tüketim ölçeğine geçişinde en önemli bilinmezlerden birini oluşturmaktadır (Zandonadi ve ark., 2025).

Sonuç olarak yapay et, yüksek kaliteli bir protein kaynağı olarak beslenmeye katkı sunabilecek potansiyele sahip olmakla birlikte, mikrobesein eksiklikleri, biyo-yararlanım belirsizlikleri ve uzun dönem sağlık etkilerinin henüz yeterince bilinmemesi gibi dezavantajları da barındırmaktadır. Öte yandan yağ asidi profili optimizasyonu veya amaçlı vitamin-mineral zenginleştirilmesi gibi yöntemlerle daha “fonksiyonel gıda” özellikleri taşıması mümkündür. Bu yönüyle yapay et, sağlıklı beslenme açısından hem umut vadeden hem de ciddi belirsizlikler içeren bir ürün konumundadır.

5.2. Potansiyel Riskler ve Biyogüvenlik

Yapay et üretim süreci, geleneksel etten farklı olarak çok sayıda yeni girdi ve aşamayı içermektedir. Bu nedenle, potansiyel kimyasal, biyolojik ve fiziksel riskler farklı üretim kademelerinde ortaya çıkabilmektedir. Literatür, özellikle üretim protokollerinde kullanılan hücre kültürü bileşenlerinin ve proses adımlarının, gıda güvenliği açısından kritik noktalar oluşturduğunu göstermektedir (Zandonadi ve ark., 2025).

Kimyasal riskler öncelikle besi ortamı ve eklenen katkılarla ilişkilidir. Hücre proliferasyonu ve farklılaşması sırasında kullanılan besi ortamı bileşenleri, serumlar, büyüme faktörleri, mikro-taşıyıcılar ve iskele (scaffold) materyalleri nihai üründe kalıntı bırakabilmektedir (Ketelings ve ark., 2021; Sogore ve ark., 2024)]. Bu kalıntılar ağır metaller, pestisitler,

herbisitler, fungusitler, kalıcı organik kirleticiler (ör. PFAS, dioksinler) veya plastik esaslı yapıların bozunma ürünleri şeklinde olabilir (FAO ve WHO, 2023; Zaitseva ve ark., 2023). Bu tür kimyasalların üretim hattına hava, su, kullanılan ekipman, temizlik ajanları ya da ambalajlama malzemeleri yoluyla bulaşması da muhtemeldir. Eğer bu maddeler tüketiciyi tehlikeye atacak seviyelerde nihai üründe bulunursa ciddi bir sağlık riski doğurur (FAO ve WHO, 2023).

Hücre farklılaştırma aşamalarında kullanılan bazı kimyasal indükleyiciler de benzer şekilde risklidir. Örneğin preadipositlerden adiposit oluşturmak için kullanılan deksametazon, indometasin ve IBMX gibi ilaçlar toksik etki potansiyeline sahiptir ve gıda ürünlerinde kullanımına izin verilmemektedir (Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022; Zaitseva ve ark., 2023). Bunlar yapay ette kalıntı bırakabileceği için gıda güvenliği değerlendirmeleri kapsamında özellikle kontrol edilmelidir (FAO ve WHO, 2023; Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022). Aynı şekilde, antibiyotikler ve antifungaller (ör. penisilin, streptomisin, gentamisin) hücre kültürlerinde kontaminasyonu önlemek için sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu ürünlerin kültür sürecinde kalması veya yeterince uzaklaştırılamaması hâlinde son üründe kalıntı olarak bulunabilmesi olasıdır. Bu nedenle, kalıntı risklerini en aza indirmek amacıyla aseptik üretim ortamı sağlanmalı, antibiyotik kullanımı sınırlandırılmalı ve kalıntıların güvenli seviyede olup olmadığı test edilmelidir (FAO ve WHO, 2023; Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022).

Fiziksel riskler iskele materyalleri ve biyoreaktör bileşenlerinden kaynaklanabilmektedir. Kolajen, jelatin, polimer bazlı iskeleler veya mikro-taşıyıcılar bozunarak ürün içine parçacık bırakabilmekte ve bu parçaların biyolojik olarak güvenli olup olmadığı tartışmalıdır (Bomkamp ve ark., 2022; Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022). Ayrıca biyoreaktörlerin yapısında kullanılan metal ve plastik parçalar çözünerek ağır metal ya da toksik partikül bulaşmalarına yol açabilir (Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022). Bu nedenle üretim hattında GMP ve HACCP odaklı kontrol mekanizmaları zorunlu görülmektedir.

Mikrobiyolojik riskler açısından, kültürlenmiş et konvansiyonel etten farklı bir profil sunmaktadır. Enterik patojenlerle bulaş riskinin düşük olduğu düşünülse de, laboratuvar ortamında mantar, maya, bakteri ve özellikle mikoplazma kontaminasyonu önemli risk alanlarıdır (Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022; Sogore ve ark., 2024). Mikoplazma enfeksiyonları kültür performansını bozar, hücre büyümesini yavaşlatır ve genetik anomalilere sebep olabilir (Enrione ve ark., 2017; Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022). Ayrıca hücre bankasında veya serum kaynaklı içeriklerde virüs bulaşı da mümkün görülmektedir. Çoğu virüs tür-spesifik olsa da mutasyon yoluyla farklı konaklara geçiş ihtimali göz ardı edilmemelidir (Smith-Uchotski ve Wanjiru, 2022; Tuomisto ve Teixeira de Mattos, 2011).

Bu nedenle hücre hatlarının sürekli izlenmesi, PCR gibi ileri testlerle taranması ve uygun dekontaminasyon yöntemlerinin uygulanması gıda güvenliği için kritik kabul edilmektedir. Bununla birlikte son ürünün mikroorganizma yükünün konvansiyonel etten daha düşük olması öngörülmekte, fakat bu hipotezin düzenli testlerle doğrulanması gerekmektedir (Zandonadi ve ark., 2025).

Genetik stabilite de gıda güvenliğiyle doğrudan ilişkilidir. Seçilmiş hücre hatlarının istenmeyen mutasyonlar geçirme ihtimali vardır. Bu nedenle kromozom analizleri ve fenotipik testler ile hücrelerin stabilitesi düzenli olarak izlenmelidir (Ketelings ve ark., 2021). Uzmanlara göre kültürlenmiş etin “tümörijenik hücre” içerme ihtimali düşük olmakla birlikte, bu ihtimalin bertaraf edilmesi için tüm hücrelerde genetik stabilite ve fenotipik güvenlik testleri zorunlu hale gelmelidir (FAO ve WHO, 2023; Ong ve ark., 2023).

Alerjenite ve toksisite riskleri kültür sırasındaki yeni protein oluşumlarıyla ilgilidir. Kültürlenmiş ette konvansiyonel ette olmayan bir proteinin ortaya çıkması, bilinen alerjenlerle çapraz reaksiyon riskine neden olabilir. Bu nedenle ürün bazlı protein analizleri ve biyoinformatik testlerle alerjen benzerlikleri taranmalı; gerekirse in vitro sindirim stabilite testleri, IgE serum taramaları veya hayvan deneyleri yapılmalıdır. Ayrıca sitotoksisite ve genotoksisite testleri kullanılarak ürünün uzun vadede insan sağlığı üzerinde oluşturabileceği riskler değerlendirilmelidir (FAO ve WHO, 2023).

Sonuç olarak, kültürlenmiş etin güvenliği açısından en kritik riskler kimyasal kalıntılar (besi ortamı, serum, antibiyotik, iskele materyalleri), mikrobiyolojik bulaşmalar (bakteri, mikoplazma, virüsler), genetik stabilite belirsizlikleri ve yeni proteinlerin yol açabileceği alerjenite/toksisite başlıkları altında toplanabilir. Bu risklerin kontrolü için HACCP ilkelerine dayalı bir sistemin uygulanması, iyi laboratuvar uygulamaları (GLP), iyi üretim uygulamaları (GMP) ve iyi hücre kültürü uygulamalarının (GCP) sistematik biçimde benimsenmesi kaçınılmazdır (Zandonadi ve ark., 2025).

5.3. Uluslararası Gıda Güvenliği Standartları

Yapay et, yeni gıda ürünleri arasında değerlendirildiği için küresel ölçekte “novel food” kategorisinde ele alınmakta ve tüm ülkeler tarafından öncelikli olarak gıda güvenliği risk değerlendirmesi temelinde düzenlenmektedir. Yapay etin henüz geniş ölçekli pazara giriş aşamasında bulunması, bu ürünün güvenliği için farklı ülkelerde ayrı uygulamaların geliştirilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, ortak eğilim; risk odaklı ön değerlendirme süreçleri, üretim aşamalarının denetimi, nihai ürün testleri ve açık etiketleme zorunluluklarıdır (Zandonadi ve ark., 2025).

Singapur, yapay eti onaylayan ilk ülke olarak öne çıkmaktadır. 2020 yılında Singapur Gıda Ajansı (SFA), laboratuvarda üretilen tavuk ürününe pazara giriş izni vermiştir. 2024'te güncellenen Novel Foods Regulation kapsamında ise üreticilerden, ürünlerini piyasaya sunmadan önce üç aşamalı bir güvenlik değerlendirmesi talep edilmektedir. Bu değerlendirme süreci, öncelikle “üretim sürecinin (hücre hatlarının seçimi, kullanılan besi ortamları ve toksikolojik profiller) incelenmesini”, ardından “kontaminasyon risklerine karşı uygulanan hijyen ve güvenlik kontrollerinin analizini” ve son olarak da “nihai ürünün mevcut gıda güvenliği standartlarıyla uyumunun doğrulanmasını” içermektedir (SFA, 2024). Ayrıca, tüketicinin bilinçli tercih yapabilmesini sağlamak amacıyla ürün etiketinde mutlaka “hücre kültüründen elde edilmiştir” ibaresinin bulunması yasal bir zorunluluk haline getirilmiştir (Miyake ve ark., 2023; SFA, 2024).

Amerika Birleşik Devletleri'nde Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ile Tarım Bakanlığı (USDA) 2018'den itibaren ortak bir denetim mekanizması geliştirmiştir. Buna göre FDA, hücrelerin toplanması, hücre bankalarının oluşturulması, büyüme ve farklılaşma aşamalarını; USDA ise hasat sonrası süreçleri, üretim ve etiketleme faaliyetlerini denetlemektedir (FDA, 2019). 2022 ve 2023 yıllarında FDA, yapay et ürünleri için iki formal “pre-market” başvuruya olumlu dönüş yaparak ürünlerin insan tüketimi için güvenli olduğunu duyurmuştur (FDA, 2022, 2023). Ayrıca ABD'de etiketleme süreçleri USDA-FSIS tarafından yürütülmekte, ürünlerin “doğru ve yanıltıcı olmayan” şekilde tanımlanması zorunluluğu getirilmektedir (FDA, 2016, 2023). Bu kapsamda düzenli tesis denetimleri, kalıntı analizleri ve patojen testleri de yapılmaktadır (Zandonadi ve ark., 2025).

Avrupa Birliği'nde (AB) yapay et, Novel Foods Regulation (EU 2015/2283) kapsamında değerlendirilmektedir. Bu çerçeveye göre, yapay et ürünlerinin ticarileşebilmesi için Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin (EFSA) ayrıntılı risk değerlendirmesi yapması gerekmektedir (Afonso ve ark., 2024). 2024'te EFSA, hücre bazlı gıdaların otoriteye sunulacak başvurularında gerekli teknik ve bilimsel bilgileri ayrıntılandıran bir rehber yayımlamıştır (Turck ve ark., 2024). Buna göre, hücre hattının kimliği, genetik stabilitesi, üretim ortamında kullanılan tüm kimyasal/biyolojik maddeler ve bunların kalıntı seviyeleri incelenmektedir. Ayrıca ürünlerin mikrobiyal kontaminasyona yatkınlıkları ve alerjen potansiyelleri de risk değerlendirmesinde dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte AB'nin farklı ülkelerinde politik tutumlar çeşitlilik gösterebilmektedir; İtalya 2023 yılında yapay etin üretimini ve satışını yasaklayan bir düzenleme kabul etmiş, gerekçe olarak tüketici sağlığına ilişkin belirsizlikleri ve tarımsal ekonomiye etkilerini öne sürmüştür (Senato della Repubblica, 2023).

Kanada, Health Canada aracılığıyla 2022'de güncellediği “Novel Food Guidelines” kapsamında yapay et ürünlerini değerlendirmeye almıştır. Gıda üretim sürecinde kullanılan

kimyasallar, mikrobiyolojik kontaminasyon riskleri, alerjenite ve toksisite analizleri pre-market başvurunun ayrılmaz parçası haline getirilmiştir (Anonymous, 2022b, 2024a).

Avustralya ve Yeni Zelanda mevzuatı (FSANZ) da yapay eti novel food kategorisinde değerlendirmekte, pre-market başvurular için benzer güvenlik kriterlerini uygulamaktadır (FSANZ, 2023).

İsrail, 2024 yılında laboratuvar ortamında üretilen sığır eti ürününe resmî onay vererek dünyada bu kategoriye yeşil ışık yakan ilk ülkelerden biri olmuştur. Ürünler yalnızca Sağlık Bakanlığı tarafından verilen lisans ile pazara sunulabilmektedir (Anonymous, 2024b).

Brezilya’da ise 2023’te yayımlanan RDC No. 839 düzenlemesi ile yapay et de novel food kapsamına alınmıştır. Bu düzenlemeye göre otoritelerden ön onay alınması, üretim sürecindeki tüm girdilerin izlenmesi ve risk analizlerinin dosya halinde sunulması zorunlu tutulmuştur (ANVISA, 2023).

Öte yandan uluslararası düzeyde FAO ve WHO, 2023–2024 yıllarında yayımladıkları ortak raporlarda yapay et için temel gıda güvenliği kategorilerini tanımlamışlardır. Raporla göre, ürünlerin risk değerlendirmesi altı ana başlık altında yapılmalıdır: (i) hücre hatlarının genetik stabilitesi, (ii) hücrelerden kaynaklı mikrobiyolojik riskler, (iii) üretim sürecinde kullanılan kimyasal/biyolojik maddelere maruziyet, (iv) ürünün toksisite ve alerjenite potansiyeli, (v) hasat sonrası mikrobiyolojik kontaminasyon, (vi) kimyasal kalıntılar ve çevresel kirleticiler (FAO ve WHO, 2024). Bu başlıklar uluslararası ölçekte temel referans olarak değerlendirilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, küresel gıda güvenliği standartları yapay et için hâlen gelişim aşamasındadır. Bununla birlikte, tüm düzenleyici otoritelerin ortak önceliği “ürünün insan tüketimi açısından güvenli olduğunun pre-market risk değerlendirmesi ile kanıtlanmasıdır. Bu doğrultuda, regülasyonlar yalnızca nihai ürün testleriyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda hücre bankalarının denetiminden üretim süreçlerinin izlenmesine, kalıntı ve kontaminasyon analizlerinden etiketleme zorunluluklarına kadar bütüncül bir kontrol mekanizmasını içermektedir.

Bu yaklaşım, farklı ülke ve bölgeler arasında teknik detaylar açısından değişiklikler gösterse de uluslararası düzeyde ortak bir gıda güvenliği çerçevesinin oluşmakta olduğunu göstermektedir. Önümüzdeki dönemde FAO ve WHO gibi uluslararası kuruluşların rehberliği ile ülkelerin mevzuatlarının kısmen uyum sağlayabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, yapay et teknolojisinin henüz erken bir pazara giriş aşamasında bulunması, uzun vadeli sağlık etkileri, toksisite ve alerjenite riskleri ile regülasyon boşlukları gibi belirsizlikleri gündemde tutmaktadır. Dolayısıyla uluslararası düzeydeki temel hedef, yapay

etin potansiyel faydaları (çevresel sürdürülebilirlik, hayvan refahı, besinsel tasarım avantajları) ile taşıdığı riskler (düzenleyici belirsizlikler, tüketici güvensizliği, dini/etik hassasiyetler, uzun dönemli sağlık belirsizlikleri) arasında dengeli bir gıda güvenliği çerçevesinin kurulması olacaktır.

5.4. Türkiye İçin Gıda Güvenliği Perspektifi

Türkiye’de yapay etin gıda güvenliği bakımından değerlendirilmesi, küresel düzenlemelerden farklı olarak hâlen ciddi bir mevzuat boşluğu barındırmaktadır. Türk Gıda Kodeksi’nde yapay et veya hücre temelli ürünler için özel bir tanım ve düzenleme bulunmamaktadır. Bu durum, ürünlerin hukuki statüsünün belirsiz kalmasına ve ticarileşme sürecinde mevzuat engelleriyle karşılaşmasına yol açabilir. Uluslararası uygulamalarla karşılaştırıldığında, Türkiye’nin yapay eti “yeni gıda” (novel food) kategorisi altında ele alması, AB’de olduğu gibi pazara çıkış öncesi risk değerlendirmesi şart koşması ve üretim sürecini gıda güvenliği ilkeleri çerçevesinde denetime tabi tutması gerekmektedir.

Bu perspektifte, Türkiye’nin sahip olduğu mevcut kurumsal yapı önemli avantajlar sunabilir. Tarım ve Orman Bakanlığı gıda güvenliği denetimlerinden, Sağlık Bakanlığı halk sağlığı risk analizlerinden, TÜBİTAK ve üniversiteler ise bilimsel testlerden sorumlu ortak bir yapıda hareket edebilir. Ayrıca, Türkiye’nin Avrupa Birliği ile uyum süreci kapsamında hâlihazırda pek çok gıda güvenliği standardını benimsediği düşünülürse, bu deneyim yapay etin güvenlik çerçevesinin şekillendirilmesinde referans noktası olabilir. Türkiye açısından temel gereklilik, uluslararası örneklerden uyarlanmış ama ülkenin koşullarına özel risk değerlendirme metodolojileri, denetim mekanizmaları ve laboratuvar test süreçlerinin oluşturulmasıdır. Böylelikle hem tüketici sağlığı korunacak hem de teknolojinin gelişim imkanları düzenleyici bir çerçeve içerisinde değerlendirilebilecektir.

6. ETİK VE SOSYOLOJİK BOYUT

Yapay etin ortaya çıkışı yalnızca teknolojik ve ekonomik boyutlarıyla değil, aynı zamanda etik değerler, toplumsal kabuller ve kültürel alışkanlıklarla da yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, hayvan refahı, doğallık algısı, dinî yaklaşımlar, geleneksel beslenme pratikleri ve kamuoyundaki medya tartışmaları yapay etin toplumsal kabulünü belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Etik ve sosyolojik boyutlar, bu teknolojinin yalnızca üretim sürecini değil, aynı zamanda toplumun değer dünyasını ve gelecekteki gıda tercihlerini de şekillendirecek kritik faktörler olarak öne çıkmaktadır.

6.1. Hayvan Refahı ve Etik Tartışmalar

Yapay et, hayvan refahı tartışmalarında sıklıkla “etik bir çözüm” olarak gündeme gelmektedir. Çünkü bu üretim süreci, hayvanların topluca yetiştirilmesini ve kesilmesini ortadan kaldırma potansiyeli taşımaktadır. Canlı hayvanlardan yalnızca sınırlı sayıda hücre alınarak biyoreaktörlerde çoğaltma yoluyla et üretilebilmekte ve böylece kesime dayalı hayvancılığın neden olduğu acı, stres ve refah sorunları bertaraf edilebilmektedir (Kadim ve ark., 2015). Bu yönüyle yapay et, özellikle hayvan refahı ve etik hassasiyetleri yüksek kamuoyu için “acıdan arındırılmış (cruelty-free) et” olarak tanımlanmaktadır (Hopkins ve Dacey, 2008; Stephens ve ark., 2018).

Etik literatürde yapay etin geliştirilmesi, yalnızca bir bilimsel olanak değil; kimi yaklaşımlara göre insanlığın ahlaki bir sorumluluğu olarak görülmektedir. Hopkins and Dacey (2008), yapay et üretiminin hayvan kesimlerini ortadan kaldıracağı için ahlaki bir görev olduğunu ifade ederken, Armaza-Armaza and Armaza-Galdos (2010) da benzer şekilde teknolojiyi “ahlaki bir ödev” olarak nitelendirmektedir. Bu yorumlar, yapay eti yalnızca tercih edilebilir bir yenilik değil, aynı zamanda etik açıdan zorunlu bir gıda teknolojisi olarak konumlandırmaktadır (Stephens ve ark., 2018).

Bununla birlikte, literatürde eleştirel yaklaşımlar da mevcuttur. Bazı görüşler, yapay etin eti merkeze alan bir anlayışı yeniden ürettiğini ve aslında et tüketimini meşrulaştıran yeni bir üretim biçimi sunduğunu savunmaktadır. Bu nedenle, yapay etin küresel gıda sistemlerinde yapısal bir dönüşüm oluşturmak yerine elit tüketicilere yeni bir seçenek sunduğu eleştirileri yapılmaktadır (Cole ve Morgan, 2013; Stephens ve ark., 2018). Weisberg (2015) ve Metcalf (2013), teknolojik çözümlere aşırı güvenmenin etik problemlere kalıcı çözüm getirmeyeceğini, yalnızca mevcut krizin ertelenmesine yol açabileceğini vurgulamaktadır.

Ayrıca kamuoyunda yapay etin “doğallıktan uzak” bulunduğu ve insanın doğayı kendi çıkarlarına göre aşırı biçimde manipüle ettiği yönünde kaygılar da sıklıkla dile getirilmektedir (Dolfi ve ark., 2025). Bazı tüketiciler yapay eti yalnızca “laboratuvar ürünü”

olarak algılamakta ve bunun beslenme konusundaki doğallık beklentisiyle ters düştüğünü ifade etmektedir.

Üstelik üretim teknikleri hâlen tamamen hayvansal unsurlardan bağımsız değildir. Yapay et için kullanılan kök hücreler canlı hayvanlardan elde edilmektedir ve birçok laboratuvar süreci hâlâ fetal bovin serum (FBS) gibi hayvansal türevlere dayalıdır. Dolayısıyla yapay et, mevcut haliyle tam anlamıyla “hayvansız üretim” değildir. Bu durum, savunucularının öne çıkardığı etik faydalarla çelişen bir tablo oluşmasına neden olmaktadır (Kadim ve ark., 2015; Stephens ve ark., 2018).

6.2. Dinî Yaklaşımlar ve Toplumsal Kabul

Yapay etin meşruiyeti yalnızca teknolojik ve ekonomik boyutlarıyla değil, aynı zamanda dinî düzenlemelerle de doğrudan ilişkilidir. Dünya nüfusunun neredeyse yarısı, et tüketimi konusunda dinî kurallara sahip geleneklere mensuptur. Dolayısıyla yapay etin helal, kosher, ahimsâ veya diğer dinî ilkeler açısından nasıl sınıflandırılacağı, bu ürünün küresel gıda sistemlerinde kabul edilebilirliği için kritik bir belirleyici olarak öne çıkmaktadır (Bryant, 2020).

İslam hukukunda, temel tartışma yapay etin helal statüsünü kazanıp kazanamayacağıdır. Literatürdeki yorumlar, hücrelerin helal kesimli hayvanlardan alınması ve üretimde kan ya da hayvansal serumların kullanılmaması hâlinde helal kabul edilebileceği yönündedir (Hamdan ve ark., 2018). Ancak domuz gibi haram sayılan türlerden elde edilen hücrelerle üretim yapılması durumunda ürünün helal kabul edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle İslami otoriteler açısından hücrenin kaynağı ve besi ortamının içeriği helal statünün en hassas boyutunu oluşturmaktadır.

Yahudilikte, yapay etin kosher kabul edilip edilmeyeceği tartışılmaktadır (Bleich, 2013; Kenigsberg ve Zivotofsky, 2020). Koşer kabulü için genellikle hücre kaynağının kosher kesimli hayvandan alınması ve üretimin hayvansal serum kullanılmadan sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Ancak “yapay et süt ürünleriyle tüketilebilir mi?” veya “domuz kaynaklı yapay et kosher olabilir mi?” gibi sorular hâlen tartışmalıdır. Bu belirsizlik, dini otoritelerin vereceği sertifikaların önemini arttırmaktadır.

Hinduizm açısından, ahimsâ yani şiddetsizlik ilkesi nedeniyle yapay et, hayvanlara zarar vermeden et üretme imkânı sunduğu için kimi topluluklarda olumlu karşılanabilir. Bununla birlikte inek, kutsal kabul edildiğinden sığır kaynaklı yapay et Hindu gelenekleriyle bağdaşmaz (Bryant, 2020). Dolayısıyla yapay etin Hindu bağlamında kabulü, özellikle hangi türden elde edildiğine bağlı olacaktır.

Budizmde ise belirli yasaklar söz konusu olmamakla birlikte, bazı tarikatlarda rahipler arasında vejetaryenlik benimsenmektedir. Bununla birlikte, resmi sınırlamaların daha esnek olması nedeniyle yapay etin Budist toplumlarda görece daha yüksek bir kabul görebileceği değerlendirilmektedir (Bryant, 2020).

Türkiye Bağlamında, yapay etin dinî kabulü, özellikle Müslüman toplumun hassasiyetleri nedeniyle doğrudan “helal sertifikasyonu” süreçlerine bağlıdır. Türkiye’de GİMDES (Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Denetleme ve Sertifikalandırma Araştırmaları Derneği) ve Diyanet İşleri Başkanlığı, bu konuda belirleyici aktörlerdir. Nitekim GİMDES’in geçmişte farklı katkı maddeleri ve üretim yöntemleri konusunda titiz tutumları olmuştur. Yapay et söz konusu olduğunda da hücrenin kaynağı, üretim ortamında kullanılan katkı maddeleri ve sürecin şeffaflığı sertifikasyon açısından kritik olacaktır. Diyanet’in vereceği resmi fetva ise, yalnızca “dini uygunluk” meselesini değil, aynı zamanda geniş tüketici kesimlerinin güven algısını da doğrudan etkileyecektir.

Genel olarak, dinî yaklaşımlar yapay etin küresel kabulünde en kritik faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ortaya çıkan tablo şunu göstermektedir: dinî yasaklı hayvanlardan elde edilen hücrelerle üretilen yapay etin reddedilmesi kuvvetle muhtemeldir; ancak uygun şartlar sağlandığında, İslam ve Yahudilik dâhil olmak üzere birçok inanç sistemi yapay eti prensipte kabul edebilir. Bununla birlikte, bu kabulün gerçekleşebilmesi için resmî dini mercilerin açıklamaları, helal/koşer sertifikasyon mekanizmaları ve uluslararası standartların geliştirilmesi belirleyici olacaktır.

6.3. Sosyolojik Etkiler: Geleneksel Beslenme Alışkanlıkları

Et, birçok kültürde yalnızca bir besin değil, aynı zamanda kimlik, aidiyet, gelenek ve ritüelin sembolü olarak görülmektedir. Bu nedenle yapay et, yalnızca teknolojik bir ürün değil, toplumsal ve kültürel alışkanlıklarla da sınıanan bir yenilik olarak değerlendirilmektedir (Kadim ve ark., 2015).

Araştırmalar bu çeşitliliği doğrulamaktadır. Dolfi ve ark. (2025), İtalya’da genç profesyoneller arasında yapay et konusundaki algıların dört farklı kümeye ayrıldığını göstermiştir: çevre ve etik faydaları vurgulayanlar, geleneksel tüketim alışkanlıklarını savunanlar, yeniliğe açık olanlar ve tarımsal paradigmayı tamamen dönüştürmek gerektiğini düşünenler. Bu bulgu, yapay etin toplumsal kabulünde homojen bir eğilim olmadığını, bireylerin kültürel değerleri ve yaşam tarzlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Türkiye açısından düşünüldüğünde, etin Kurban Bayramı gibi dini ritüellerde, misafirperverlik kültüründe ve toplumsal dayanışmada merkezi bir yere sahip olması, yapay

etin geleneksel pratiklerle uyumlu görülmesini zorlaştırabilir. Toplumsal kabulde ekonomik faktörler kadar kültürel alışkanlık ve sembolik anlamların da belirleyici olacağı öngörülebilir.

6.4. Kamuoyu Tartışmaları ve Medya Yansımalar

Yapay etin kamuoyunda nasıl algılanacağı, büyük ölçüde medyadaki sunum biçimiyle ilişkilidir. Kadim ve ark. (2015), geleneksel et üretiminde yaşanan krizlerin (örneğin BSE ve Salmonella salgınları) kamuoyunda tartışıldığında, yapay et gibi alternatiflere olan ilginin arttığını göstermektedir. Stephens et al. (2018) ise sosyal medyada yapay et konusundaki tartışmaların çoğunlukla “doğallık”, “yapaylık” ve “sağlık” ekseninde şekillendiğini, kamuoyunun da olumlu, olumsuz ve kararsız tutumlar arasında bölündüğünü vurgulamaktadır.

Bryant (2020), ABD ve Avrupa’da erken dönem medya söylemlerinin genellikle olumlu çerçevede olduğunu, bunun da özellikle çevre, sağlık ve hayvan refahı konularına yapılan vurgulardan kaynaklandığını belirtmektedir. Ancak tarım lobileri ve geleneksel üretim aktörleri tarafından “doğallıktan uzaklık (unnaturalness)” söyleminin öne çıkarılması, kamuoyunda şüphelerin güçlenmesine yol açabilmektedir. Ayrıca, medyanın vejetaryenlerin bakış açılarını orantısız biçimde öne çıkarması da aslında yapay etin en potansiyel hedef kitlesi olan et tüketicilerinin görüşlerinin geri planda kalmasına neden olmaktadır.

Dolfi ve ark. (2025)’in çalışması, kamuoyu çeşitliliğinin yalnızca tüketici seviyesinde değil, aynı zamanda geleceğin profesyonelleri arasında da görüldüğünü ortaya koyarak, yapay ette toplumsal kabulün çok boyutlu bir süreç olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de medyanın şu an için genellikle “yapay et” söylemini olumsuz çağrışımlarla kullandığı, bu nedenle tüketicilerde mesafeli bir algı oluştuğu gözlenmektedir. Bu noktada kamuoyunun doğru bilgilendirilmesi, şeffaf iletişim ve güvenilir etiketleme gibi stratejiler ön plana çıkabilir.

7. POLİTİKA VE REGÜLASYON DİNAMİKLERİ

Yapay etin geleceğini belirleyecek unsurların başında, uluslararası düzeyde şekillenen regülasyon mekanizmaları ve politika tercihleri gelmektedir. Bu alandaki her yeni düzenleme, üretim teknolojilerinin ölçeklenmesi, yatırımcıların yönelimleri ve tüketici güveni üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu bağlamda farklı ülke örnekleri, Türkiye için doğrudan bir model sunmasa da tartışmalara ışık tutabilecek değerli karşılaştırma fırsatları sağlamaktadır.

7.1. Uluslararası Regülasyonlar

Yapay etin küresel ölçekte nasıl tanımlandığı, onaylandığı ve pazara çıkarıldığı, ülkelerin farklı regülasyon yaklaşımlarıyla şekillenmektedir. Bu çerçevede Avrupa Birliği (AB), Singapur, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), İsrail ve Japonya, politika ve kurumsal düzenlemeler açısından en dikkat çekici bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Yapay et teknolojilerinin toplumsal ve ticari entegrasyon sürecinde regülasyonların rolü, yalnızca tüketici güvenliğini sağlamaktan ibaret değildir; aynı zamanda inovasyon kapasitesini, yatırım potansiyelini ve küresel rekabet ortamını doğrudan etkilemektedir (Miyake, Tachikawa ve Kohsaka, 2023).

Avrupa Birliği (AB), yapay eti 2015 yılından itibaren “Novel Food” düzenlemeleri kapsamında ele almakta ve ürünlere pazara giriş öncesi izin verilmesi için Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından kapsamlı bir risk değerlendirmesi yapılmasını zorunlu kılmaktadır (Commission, 2021; Parliament, 2018). Bu yaklaşım, AB’nin gıda güvenliği konusundaki sıkı standartlarını yapay et ürünlerine de uyarladığını göstermektedir. Ancak AB yalnızca bir gıda güvenliği rejimi işletmemekte, aynı zamanda gıdanın geleceğini biçimlendiren geniş ölçekli stratejik çerçevelerde yapay eti konumlandırmaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı, Biyoçeşitlilik Stratejisi ve özellikle Tarladan Sofraya (Farm-to-Fork) Stratejisi, alternatif proteinlerin geliştirilmesini sürdürülebilir gıda sistemine geçişin önemli araçlarından biri olarak tanımlamaktadır (European Commission, 2020a; 2020c). Bu stratejilerin araştırma ve inovasyon ayağı, Horizon 2020 programı aracılığıyla desteklenmiş; “Meat4All” gibi projeler, doğrudan hücre temelli et araştırmalarına fon sağlamıştır (European Commission, 2020b; Ho, 2020). AB ayrıca 2023/24 Horizon Europe paketi kapsamında yapay etin çevresel, toplumsal ve ekonomik etkilerinin analiz edilmesine 7 milyon avroluk kaynak ayırmıştır (GFI, 2023). Bununla birlikte AB içinde üye devletler düzeyinde farklı tutumlar ortaya çıkmaktadır. 2023 yılında İtalya, yapay etin üretimini ve pazarlanmasını yasaklayan bir yasa kabul etmiş, Romanya’da benzer bir girişim gündeme gelmiş, Fransa’da ise yasak önerileri gündeme gelmiştir. Buna karşılık Avrupa genelinde

yürütülen anketlerde tüketici kabulünün yüksek olduğu görülmektedir (GFI, 2023). Singapur, yapay ete resmi onay veren ilk ülke olarak küresel tarihi bir adım atmıştır. 2020 yılında Eat Just firmasının hücre temelli tavuk ürününe verilen pazar izni, yalnızca Singapur için değil, dünya genelinde de önemli bir dönüm noktasıdır (Singapore Food Agency, 2021; Treich, 2021). Singapur Gıda Ajansı (SFA), yapay eti “novel food” kapsamında değerlendirmekte ve pazara sunulacak ürünler için firmalardan ayrıntılı güvenlik dosyaları talep etmektedir. Başvuru dosyaları çok katmanlı bir değerlendirme sürecinden geçmekte; uzmanlardan oluşturulan bağımsız bilimsel paneller, ürünlerin güvenlik kriterlerini karşılayıp karşılamadığını incelemektedir (Miyake, Tachikawa ve Kohsaka, 2023). Singapur aynı zamanda ulusal vizyonunu da yapay et politikalarıyla uyumlu hale getirmiştir. Green Plan 2030 çerçevesinde ülke, yapay eti gıda güvenliği ve iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında stratejik bir teknoloji olarak tanımlamış; “Future Foods” başlıklı Ar-Ge programları aracılığıyla üretim ve ölçeklenme aşamalarını teşvik etmiştir (Singapore Government Press Centre, 2021). Bu yaklaşım, Singapur’u hem düzenleyici hem de yatırım açısından yapay et için küresel bir merkez haline getirmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), yapay et regülasyonlarında “çift otorite” modelini benimsemiştir. 2019’da yapılan kurumsal düzenlemeyle ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ürünün üretim öncesi aşamalarından, yani hücrelerin seçimi ve çoğaltılması ile kültür ortamlarının denetiminden sorumlu olmuştur. Tarım Bakanlığı’na bağlı Gıda Güvenliği ve İnceleme Servisi (USDA-FSIS) ise üretimin sonraki basamakları olan işleme, paketlenme ve nihai ürünün pazara arzı üzerinde yetkilendirilmiştir (USDA, 2020). Bu iş bölümünün amacı hem gıda güvenliği hem de tüketici sağlığı bakımından eksiksiz bir sistem kurmaktır. ABD’deki mevzuat ayrıca pre-market danışma mekanizması içermekte; geliştirme aşamasındaki firmaların FDA ile diyalog başlatmaları zorunlu hale getirilmektedir (USDA, 2020). 2023’te UPSIDE Foods ve GOOD Meat şirketleri FDA değerlendirmesini tamamlayarak USDA’dan etiket ve satış onayı almış, ABD böylece Singapur’un ardından yapay et satışına izin veren ikinci ülke haline gelmiştir (GFI, 2023).

İsrail, özellikle girişimcilik ve Ar-Ge destekleri sayesinde yapay et ekosisteminde önemli bir odak noktası haline gelmiştir. 2006’dan bu yana uygulanan “novel food” yönetmeliği, yapay et dahil olmak üzere yeni üretim teknolojileri ile elde edilen gıdaların pazara sunulmadan önce değerlendirilmesini öngörmektedir (Gsap, 2021). 2015’te çıkarılan Halk Sağlığının Korunması Yasası, genetik modifikasyon veya daha önce gıda zincirinde tüketilmemiş bir organizmadan elde edilen ürünler için metabolizma temelli testler ve güvenlik incelemeleri zorunluluğu getirmiştir. İsrail hükümeti ayrıca doğrudan teşvikler ve fon mekanizmaları yoluyla yapay et girişimlerini desteklemiş, bu durum ülkenin kısa sürede alanın en yoğun

girişim sermayesi faaliyetlerinin görüldüğü yerlerden biri haline gelmesine katkıda bulunmuştur (Ministry of Environmental Protection of Israel, 2018). 2023 yılında İsrail ayrıca Singapur, ABD, Güney Kore ve Avrupa ülkeleriyle ikili araştırma programlarına katılmış, 2024 başında ise hücre temelli sığır etine yönelik ticarî onay sürecini ilerletmiştir (GFI, 2023).

Japonya ise konuya görece daha ihtiyatlı yaklaşmaktadır. Tarım, Orman ve Balıkçılık Bakanlığı (JMAFF) tarafından geliştirilen “Yenilikçilik ile Karbonsuzlaşma ve Dayanıklılığın Sağlanmasına Yönelik Önlemler” (MeaDRI) Stratejisi, yapay et dahil olmak üzere alternatif proteinleri sürdürülebilir gıda sistemlerinin ve karbon nötr hedeflerinin bir parçası olarak değerlendirmektedir (JMAFF, 2021). 2020 itibarıyla kurulan gıda teknolojileri kamu-özel konseyi, hücre temelli et üretimini “yeni nesil gıda teknolojileri” arasında konumlandırmış ve güvenlik, ölçeklenebilirlik ile üretim standartlarına ilişkin araştırma süreçlerini başlatmıştır (Food Tech Study Group of JMAFF, 2021). 2023’te ise Başbakan Kishida, gıda güvenliği ve teknoloji politikaları çerçevesinde yapay etin stratejik önemini vurgulamış ve yerli bir yapay et girişimine 13,1 milyon ABD doları (USD) tutarında fon sağlayarak bu alandaki kamu desteklerini somutlaştırmıştır (GFI, 2023).

Bunun dışında Çin, yapay eti ulusal 5 yıllık planına dahil ederek biyoteknoloji yatırımları karşılığında yapısal destekler oluşturmuş ve 2023’te Gıda Güvenliği Değerlendirme Merkezi (CFSA) aracılığıyla yapay et için özel bir düzenleyici grup kuracağını açıklamıştır (GFI, 2023). Güney Kore 2023 yılında Gıda Sanitasyon Kanunu’nda yaptığı değişiklikle yapay et ürünlerini “ön pazara giriş yetkisi” kapsamına dahil etmiş ve 2024 itibarıyla şirketlerden ticarî başvuruları almaya başlamıştır (GFI, 2023). Avustralya ve Yeni Zelanda’da ise yapay etin düzenlenmesi FSANZ tarafından yürütülmekte olup, 2023 yılında Vow Food’un başvurusu kamuya açılmış ve ürünler için “cell-cultured” teriminin önerildiği bildirilmiştir (GFI, 2023). Benzer şekilde Brezilya Tarım Bakanlığı bir Ulusal Alternatif Protein Planı üzerinde çalışmaya başlamış, Kanada ise yapay eti “novel food” kapsamına dahil ederek başvurular için 410 günlük bir değerlendirme süresi öngörmüştür (GFI, 2023). İsviçre’de Aleph Farms, 2023’te Avrupa’da yapılan ilk resmi başvuruyu yapmış, süreç hâlen değerlendirme aşamasındadır (GFI, 2023).

Uluslararası deneyimler, yapay etin düzenlenmesinde çoğunlukla üç temel unsurun öne çıktığını göstermektedir. Bunlar, pazara giriş öncesinde gerçekleştirilen güvenlik değerlendirmeleri, ürünün hukuki statüsü ve tanımının belirlenmesi ile ulusal gıda ve çevre stratejileriyle entegrasyonudur. Bununla birlikte, ülkelerin bu süreçlerde izlediği hız, kapsam ve yöntemler arasında farklılıklar dikkati çekmektedir. Bu çeşitlilik, yapay et pazarının küresel ölçekte uyumlu ve öngörülebilir bir yapı üzerinde gelişmesini

güçleştirmektedir. Önümüzdeki dönemde uluslararası standartların oluşturulması hem sektör aktörlerinin hem de politika yapımcıların gündeminde önemli bir yer tutmaya devam edecektir (Miyake, Tachikawa ve Kohsaka, 2023; GFI, 2023). Türkiye’de ise yapay et konusunda henüz özel bir yasal düzenleme mevcut değildir. Mevcut mevzuat içerisinde konunun açık biçimde tanımlanmış olmaması, ilerleyen süreçte uluslararası deneyimlerin ve karşılaştırmalı regülasyon modellerinin dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır.

7.2. Etiketleme ve Tüketici Bilgilendirmesi

Yapay etin ticarileşmesi açısından en tartışmalı alanlardan biri, ürünlerin tüketiciye hangi ifadelerle sunulacağı ve etiketlerde nasıl tanımlanacağıdır. Etiketleme yalnızca teknik bir bilgilendirme aracı olarak değil, aynı zamanda tüketici güveninin sağlanması, kültürel ve dini hassasiyetlerin korunması ve rekabetin dengelenmesi bakımından kritik bir politika alanı olarak öne çıkmaktadır (Miyake, Tachikawa ve Kohsaka, 2023). Uluslararası deneyimler, farklı ülkelerde bu konuda birbirinden ayrışan düzenleyici yaklaşımların benimsendiğini ortaya koymaktadır.

Avrupa Birliği’nde yapay et ürünleri “novel food” kapsamında değerlendirildiğinden, tüketicinin doğru bilgilendirilmesi yasal bir zorunluluktur. Etiketlerde ürünün içeriği ve üretim süreci hakkında açık ve anlaşılır bilgilerin yer alması gerekmektedir (Commission, 2021; Parliament, 2015). Bununla birlikte bazı üye ülkeler, tüketici nezdinde muhtemel karışıklığı önlemek amacıyla kısıtlayıcı düzenlemeler getirmiştir. Örneğin Fransa ve Almanya, “meat” veya “steak” gibi ifadelerin yapay et ürünlerinde kullanılmasını sınırlandırmıştır (FAO, 2022a). Bu farklı yaklaşımlar, AB içinde etiketleme konusunda yeknesak bir uygulamanın henüz oluşmadığını göstermektedir.

Singapur, bu konuda en net ve bağlayıcı kriterleri benimseyen ilk ülke olmuştur. Singapur Gıda Ajansı (SFA), yapay et ürünlerinin “gerçek doğasını” göstermesi gerektiğini vurgulamaktadır (Singapore Food Agency, 2021). Bu nedenle etiketlerde doğrudan yalnızca “meat” ifadesinin kullanılmasına izin verilmemekte; ürünlerin “cell-based”, “cultured” veya “imitation” gibi açıklayıcı ibarelerle tanımlanması zorunlu tutulmaktadır. Bu yaklaşım, tüketiciye ürünün kaynağı hakkında yanıltıcı olmayan bilgi sağlama amacını yansıtmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri ise etiketleme tartışmalarının en yoğun yaşandığı ülkelerden biridir. ABD’de geleneksel hayvancılık sektörünün güçlü lobileri, “beef” ve “meat” ifadelerinin yalnızca hayvan kesiminden elde edilen ürünlere özgülenmesi gerektiği yönünde yoğun baskı yapmaktadır (Sanchez, 2018; Flynn, 2019). Bu doğrultuda Missouri gibi bazı eyaletlerde mevzuata eklenen hükümler, yapay et ürünlerinde “meat” teriminin kullanılmasını yasaklamıştır (Chriki ve Hocquette, 2020). Ancak federal düzeyde düzenleme

henüz tam netlik kazanmamış olup, USDA ve FDA'nın ortak çerçevesi altında etiketleme konusunda farklı yorum alanları bulunmaktadır (USDA, 2020). 2023 yılında USDA, UPSIDE Foods ve GOOD Meat ürünleri için "cell-cultivated chicken" ifadesini etiketlerde kullanılmak üzere onaylamış, böylece etiket tartışmalarında ilk somut terminolojik adım atılmıştır. Bunun yanında bazı eyaletlerde "lab-grown" veya "lab-created" gibi ifadelerin zorunlu hale getirilmesini öngören yasa tasarıları gündeme gelmiş, bu düzenlemeler hâlen yargı süreçlerinde tartışılmaktadır (GFI, 2023).

Avustralya ve Yeni Zelanda'da yapay et, FSANZ tarafından "novel food" kapsamında düzenlenmektedir. 2023 yılında Avustralyalı Vow Food'un başvurusu kamu istişaresine açılmış ve FSANZ "cell-cultured" ifadesini önerilen etiket terminolojisi olarak sunmuştur (GFI, 2023). Bu yaklaşım, etiketleme tartışmalarının yalnızca ticari değil, kamuoyu danışmalarıyla da şekillendiğini göstermektedir.

Kanada'da etikete ilişkin özel bir düzenleme henüz bulunmamakla birlikte, yapay et "novel food" hükümleri kapsamında ele alınacak olup mevcut gıda yasalarının genel etiketleme kuralları geçerli olacaktır. Ayrıca Kanada Gıda Denetim Kurumu'nun (CFIA), ürünlerin doğru adlandırılması ve içerik bilgisi bakımından ek koşullar getirebileceği öngörülmektedir (GFI, 2023).

Birleşik Krallık'ta ise 2023 yılında Gıda Standartları Ajansı (FSA), "cell-cultivated products" ifadesini kullanarak yeni bir rehber yayımlamıştır. Bu rehberde, yapay et ürünlerinin diğer gıdalarda olduğu gibi bileşenler, alerjenler ve son tüketim tarihi hakkında bilgi içermesi gerektiği belirtilmiş, ayrıca bu ürünlere özgü ilave etiketlendirme şartlarının gündeme gelebileceği vurgulanmıştır (GFI, 2023).

Etiketleme konusundaki tartışmalar yalnızca terminoloji düzeyinde değil, aynı zamanda literatür ve bilgi yönetiminde de kendini göstermektedir. Kullanılan farklı terimler — "lab-grown", "synthetic", "cultured", "cell-based" — ürünlerin kamuoyundaki algısını doğrudan etkilemektedir. Literatürde "lab-grown" veya "synthetic" gibi ifadelerin olumsuz çağrışımlar içerdiğine, buna karşılık "cultured" gibi terimlerin daha nötr ve olumlu algılandığına dikkat çekilmektedir (Reis et al., 2020; Stephens et al., 2018). Bu nedenle uluslararası kuruluşlar konuyla ilgili dil birliği çabalarına girişmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2022 yılında yaptığı değerlendirmede "cell-based food" teriminin kullanılmasını tavsiye etmiştir (FAO, 2022b).

Genel olarak değerlendirildiğinde, uluslararası düzeyde yapay et etiketlemesinde üç ana noktada tartışmalar yoğunlaşmaktadır. İlk olarak, tüketicilerin ürünün kaynağı ve üretim süreci hakkında doğru ve şeffaf biçimde bilgilendirilmesi gerekmektedir. İkinci olarak,

geleneksel hayvancılık sektörünün etiketleme üzerindeki etkisi, politik ve ekonomik bir mücadele alanı olarak öne çıkmaktadır. Üçüncü olarak ise terminolojideki farklılıklar hem literatürde hem de kamuoyunda ortak bir algı oluşturmayı zorlaştırmaktadır. Bu tartışmalar hem tüketici güvenini hem de piyasadaki rekabet koşullarını doğrudan etkilemekte, yapay etin küresel düzeyde toplumsal kabulünde belirleyici olmaktadır.

7.3. Türkiye’de Mevcut Durum ve Regülasyon İhtiyacı

Türkiye’de yapay et konusunda henüz özel bir yasal düzenleme ve kurumsal uygulama mevcut değildir. Mevcut gıda mevzuatı, geleneksel hayvansal üretim ve bitkisel kaynaklı gıdalara odaklanmakta; biyoteknoloji temelli yeni nesil üretim yöntemleri için açık hükümler içermemektedir. Bu nedenle yapay et, şu aşamada Türk hukuk sisteminde tanımlı bir ürün kategorisi olarak bulunmamaktadır. Söz konusu belirsizlik, hem araştırma-geliştirme çalışmalarının hukuki statüsü hem de ileride olası ticarileşme süreçleri açısından düzenleme ihtiyacını gündeme getirmektedir.

Türkiye’de gıda güvenliği düzenlemelerinden esas olarak Tarım ve Orman Bakanlığı sorumludur. Bakanlık, mevcut mevzuatta “yeni gıdalar” (novel foods) kavramını içerecek kapsamlı bir tanımlamaya sahip değildir. Dolayısıyla yapay etin süreç içerisinde hangi kategori altında değerlendirileceği, örneğin hayvansal ürün mü yoksa biyoteknolojik yeni bir ürün grubu mu olarak ele alınacağı net değildir. Bu sınıflandırma, düzenleyici modelin temel çerçevesini belirleyecek kritik bir aşama olacaktır.

Etiketleme, izin süreçleri ve üretim standartlarının yanı sıra, Türkiye açısından dinî ve kültürel boyutlar da özel bir önem taşımaktadır. Yapay etin helal uygunluğunun nasıl tanımlanacağı, Diyanet İşleri Başkanlığı başta olmak üzere ilgili kurumların değerlendirmesine ihtiyaç duyacaktır. Uluslararası alanda olduğu gibi Türkiye’de de bu tartışmanın toplumsal kabul açısından belirleyici bir faktör olması beklenmektedir.

Öte yandan, yapay etin yaygınlaşması halinde mevcut hayvancılık sektörü ve kırsal ekonomi üzerinde yapısal etkiler doğabilecektir. Bu açıdan yapılacak düzenlemelerin yalnızca gıda güvenliği ve etiketleme boyutuyla sınırlı kalmayıp, sektörel dönüşüm ve istihdam perspektiflerini de dikkate alması gerekecektir.

Yapay etin regülasyonuna yönelik gelecekteki ihtiyaçlar, uluslararası deneyimler ışığında üç başlıkta değerlendirilebilir. İlk olarak, ürünün hukuki tanımının yapılması ve mevzuat içinde açık bir şekilde kategorize edilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, güvenlik denetim süreçlerinin oluşturulması, bağımsız bilimsel otoriteler veya mevcut kurumların güçlendirilmesi yoluyla sağlanmalıdır. Son olarak, kültürel ve toplumsal hassasiyetlerin yasal çerçeveye yansıtılması önem taşımaktadır. Bu üç eksen üzerinde şekillenecek bir

regülasyon çerçevesi, Türkiye'nin hem tüketici güvenliğini sağlamasına hem de küresel pazarda geride kalmamasına katkı sağlayabilecektir.

7.4. Uluslararası İş Birlikleri ve Gelecek Perspektifleri?

Yapay etin küresel gelişimi, yalnızca ulusal regülasyonların ve pazar onaylarının değil, aynı zamanda ülkeler arası iş birliklerinin de hızla önem kazandığını göstermektedir. 2023 yılı itibarıyla birçok hükümet, yalnızca kendi Ar-Ge programlarını desteklemekle kalmamış, aynı zamanda farklı ülkelerle ortak projeler geliştirerek “küresel ölçekte bütünleşik bir araştırma ve iş ekosistemi” oluşturma yönünde adımlar atmıştır (GFI, 2023).

Bu eğilimin en somut politik zeminlerinden biri, 2023 yılında Dubai’de düzenlenen COP28 İklim Konferansı olmuştur. Birleşmiş Milletler Çevre Programı’nın (UNEP) yayımladığı kapsamlı raporda, alternatif proteinlerin —dolayısıyla yapay etin— iklim hedeflerine ulaşılması açısından taşıdığı potansiyel ayrıntılı biçimde ele alınmış; ülkeler arasında ikili ve çok taraflı araştırma programları yürütülmesi, ticaret politikalarının destekleyici biçimde revize edilmesi, ortak gıda güvenliği standartlarının oluşturulması ve kalkınma finansman kuruluşlarının sürece dâhil edilmesi önerilmiştir (GFI, 2023). Ayrıca COP28’de 159 ülke tarafından imzalanan “Emirates Declaration on Sustainable Agriculture and Food Systems”, gıda sistemlerini emisyon azaltım hedefleriyle uyumlu hale getirmeye yönelik uluslararası kararlılığı ortaya koymuştur. Bildirge doğrudan yapay etten bahsetmese de hayvancılık temelli emisyonların azaltılması için alternatif proteinlerin desteklenmesinin dolaylı bir gereklilik olduğu açıktır (GFI, 2023).

Gıda güvenliği standartlarının küresel düzeyde uyumlulaştırılmasına yönelik tartışmalar da hız kazanmıştır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yayımlanan “Food Safety Aspects of Cell-Based Foods” başlıklı rapor, yapay etin terminolojisinden sürdürülebilirliğine, güvenlik değerlendirmesinden regülasyon uyumuna kadar bir dizi konuda devletlere yol gösterici öneriler sunmuştur (FAO/WHO, 2023). Bununla bağlantılı olarak Aralık 2023’te gerçekleştirilen Codex Alimentarius Komisyonu’nun 46. oturumunda (CAC46), yeni gıda üretim sistemleri (Novel Food Production Systems, NFPS) çerçevesinde yapay et konusu gündeme alınmış; mevcut Codex prosedürlerinin bu alandaki regülasyon ihtiyaçlarını karşılamaya elverişli olduğu sonucuna varılmıştır. Birçok üye ülke, önümüzdeki dönemde yapılması planlanan yeni standart önerilerine katkı sunma niyetini belirtmiştir (GFI, 2023).

Uluslararası iş birlikleri yalnızca küresel forumlarla sınırlı kalmamaktadır. İsrail’in Singapur, ABD, Güney Kore ve Avrupa ülkeleri ile gerçekleştirdiği ortak Ar-Ge projeleri; Singapur ile İsrail’in birlikte yürüttüğü 3D baskı hücre temelli balık ürünü çalışması; Güney Kore’nin

alternatif protein kümelenmesi için oluşturduğu “Cellular Agriculture Industry Support Center” gibi uygulamalar, ülkeler arası iş birliğinin hem araştırma hem de teknoloji transferi boyutlarını geliştirdiğini göstermektedir (GFI, 2023).

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapay et, küresel gıda sistemlerinde son yıllarda öne çıkan biyoteknolojik üretim yaklaşımlarından biridir. Hayvansal üretimin çevresel, ekonomik ve etik yönlerine ilişkin tartışmaların artması, bu teknolojiyi gıda arzı ve sürdürülebilirlik gündeminin potansiyel unsurlarından biri haline getirmiştir. Ancak mevcut bilimsel veriler, yapay etin hâlen erken gelişim aşamasında bulunduğunu; ekonomik uygulanabilirlik, çevresel performans ve toplumsal kabul gibi konularda belirsizliklerin devam ettiğini göstermektedir.

Teknolojik açıdan, hücre çoğaltma süreçlerinde verimliliğin artırılması, serumdan bağımsız besi ortamlarının geliştirilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve ürünün duyuşal özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Buna karşın üretimin ticari ölçeğe taşınmasında teknik ve mali zorluklar devam etmektedir.

Ekonomik değerlendirmeler, yapay etin kısa vadede geniş kitlelere ulaşmasından ziyade, yüksek katma değerli ve niş pazar segmentlerinde yer bulabileceğine işaret etmektedir. Üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve ölçek ekonomisinin sağlanması, yalnızca teknolojik yeniliklere değil; aynı zamanda tedarik zincirinin yeniden yapılandırılmasına ve düzenleyici istikrarın sağlanmasına bağlıdır. Türkiye açısından, biyoteknoloji ve gıda mühendisliği alanlarındaki araştırma kapasitesinin güçlendirilmesi, bu alanda yerli bilgi üretimi ile teknik uzmanlık geliştirilmesi açısından öncelikli bir gerekliliktir.

Çevresel etkiler bakımından, yapay etin avantajları kullanılan enerji kaynağı, besi ortamının bileşimi ve atık yönetimi yöntemlerine bağlı olarak değişmektedir. Bazı modeller, geleneksel et üretimine kıyasla daha düşük sera gazı emisyonu potansiyeline işaret ederken; yüksek enerji tüketimi durumlarında bu üstünlük azalabilmektedir. Bu nedenle teknolojinin çevresel performansı, kullanılan üretim modeline özgü koşullar dikkate alınarak ölçülmelidir.

Toplumsal kabul düzeyi, yapay etin gelecekteki rolünü belirleyen en kritik unsurlardan biridir. Tüketicilerin teknolojiye duyduğu güven, doğallık ve sağlık algısı, dinî ve kültürel değerler, tüketim kararlarını doğrudan etkilemektedir. Türkiye’de yürütülen araştırmalar, toplumun büyük bir bölümünün yapay eti temkinli bir merakla karşıladığını ortaya koymaktadır. Bu durum, bilgiye dayalı iletişim stratejileri, tüketici bilgilendirmesi ve kültürel hassasiyetlerin dikkate alındığı açık bir düzenleyici yaklaşım gerektirmektedir.

Sağlık ve gıda güvenliği açısından değerlendirildiğinde, yapay et yüksek protein kalitesine sahip olmakla birlikte, mikrobesein öğeleri, olası alerjenite ve uzun dönem etkiler konusunda

veri eksiklikleri bulunmaktadır. Bu nedenle bağımsız toksikolojik araştırmaların ve klinik değerlendirmelerin artırılması, regülasyon sürecinin önkoşulu olarak görülmelidir.

Etik ve dini tartışmalar, teknolojinin toplumsal meşruiyetinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Hücre kaynağının elde edilme biçimi, üretim sürecinde kullanılan bileşenlerin niteliği ve şeffaflık düzeyi, hem “hayvansız üretim” söyleminin tutarlılığı hem de helal ve koşer çerçevelerinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Dinî otoritelerin, bilimsel verilerle uyumlu değerlendirmeler yapmaları, kamuoyunda güvenin tesisine katkı sağlayabilir.

Politika ve düzenleme açısından farklı ülke örnekleri, “yeni gıda (novel food)” kategorisinin düzenleyici çerçeve için uygun bir zemin sunduğunu göstermektedir. Türkiye özelinde, yapay etin hukuki statüsünün açık biçimde tanımlanması, risk değerlendirmesi ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi; ayrıca toplumsal ve kültürel hassasiyetlerin mevzuat dâhiline alınması önerilebilir. FAO, WHO ve Codex Alimentarius çalışmalarının yakından izlenmesi, uluslararası standartlara erken uyum sağlanmasına katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda, çok taraflı araştırma ve ağ çalışmalarına katılım, ulusal regülasyon kapasitesinin güçlendirilmesine imkân tanır.

Bu genel çerçevede, yapay etin geleceğine ilişkin olasılıklar farklı yönlerde gelişebilir. İyimser bir senaryoda, teknolojik olgunlaşmanın hızlanması, üretim maliyetlerinin düşmesi ve çevresel performansın iyileşmesiyle birlikte güvenlik standartlarının yerleştiği bir pazar oluşabilir. Daha temkinli bir senaryoda, ilerlemeler yavaş seyreder ve yapay et yalnızca belirli ülkelerde, sınırlı ürün gruplarında ekonomik karşılık bulabilir. Kötümser bir senaryoda ise yüksek maliyetler, enerji gereksinimi ve toplumsal güvensizlik nedeniyle teknoloji dar bir kullanım alanına sıkışabilir. Her üç senaryo, farklı politika yönelimleri gerektirir: ilki erken Ar-Ge ve sertifikasyon çalışmalarını, ikincisi izleme ve bilgi birikimi odaklı aşamalı ilerlemeyi, üçüncüsü ise mevcut tarımsal sürdürülebilirlik politikalarının önceliklendirilmesini öne çıkarır.

Sonuç olarak, yapay et teknolojisi ne kesin bir çözüm ne de mutlak bir risk alanı olarak değerlendirilmelidir. Mevcut bilgiler, bu üretim biçiminin hem bazı potansiyeller hem de önemli belirsizlikler içerdiğini göstermektedir. Türkiye açısından temel hedef, gelişmeleri bilimsel verilere, ekonomik fizibiliteye ve toplumsal değerlere dayalı olarak yakından izlemek; düzenleyici çerçeveyi açık ve öngörülebilir biçimde oluşturmaktır. Bu yaklaşım, kamu sağlığı ve tüketici güvenliğinin korunmasına katkı sağlarken, ülkenin gıda ve biyoteknoloji alanındaki stratejik kapasitesini bilgiye dayalı biçimde geliştirecektir.

KAYNAKÇA

- Afonso, A. L., Gelbmann, W., Germini, A., Fernández, E. N., Parrino, L., Precup, G., & Ververis, E. (2024). European Food Safety Authority Scientific Colloquium 27: Cell Culture-derived Foods and Food Ingredients. *EFSA Supporting Publications*, 21(3), 8664E.
- Akagi, T. (2004). Oncogenic transformation of human cells: shortcomings of rodent model systems. *Trends in Molecular Medicine*, 10(11), 542-548.
- Alam, A. N., Kim, C.-J., Kim, S.-H., Kumari, S., Lee, E.-Y., Hwang, Y.-H., & Joo, S.-T. (2024). Scaffolding fundamentals and recent advances in sustainable scaffolding techniques for cultured meat development. *Food Research International*, 189, 114549.
- Albrecht, F. B., Ahlfeld, T., Klatt, A., Heine, S., Gelinsky, M., & Kluger, P. J. (2024). Biofabrication's contribution to the evolution of cultured meat. *Advanced healthcare materials*, 13(13), 2304058.
- Aldhous, P. (2006). Print me a heart and a set of arteries. *New Scientist*, 15.
- Allan, S. J., De Bank, P. A., & Ellis, M. J. (2019). Bioprocess design considerations for cultured meat production with a focus on the expansion bioreactor. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 44.
- Anonymous. (2021). *Aleph farms and the technion reveal world's first cultivated Ribeye steak*. Retrieved 05 September from <https://www.prnewswire.com/il/news-releases/aleph-farms-and-the-technion-reveal-worlds-first-cultivated-ribeye-steak-301224800.html>
- Anonymous. (2022a). *Cultured meat: revolution or hype?* Retrieved September 05 from <https://www.swissinfo.ch/eng/business/cultured-meat-revolution-or-hype/47892954>
- Anonymous. (2022b). *Guidelines for the Safety Assessment of Novel Foods*. Ottawa, ON, Canada: Health Canada
- Anonymous. (2024a). *Cellular Agriculture*. Ottawa, ON, Canada: Health Canada
- Anonymous. (2024b). *Novel Food in Israel*. Ramla, Israel: Israel Ministry of Health
- ANVISA. (2023). *Resolução—RDC N° 839*. Brasília, Brasil: Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- Armaza-Armaza, E., & Armaza-Galdos, J. (2010). Legal and ethical challenges regarding edible in vitro meat production. In *Global food Security: Ethical and legal challenges* (pp. 513-520). Wageningen Academic.
- Baksh, D., Boland, G. M., & Tuan, R. S. (2007). Cross-talk between Wnt signaling pathways in human mesenchymal stem cells leads to functional antagonism during osteogenic differentiation. *Journal of cellular biochemistry*, 101(5), 1109-1124.
- Banerjee, D. K., Das, A. K., Banerjee, R., Pateiro, M., Nanda, P. K., Gadekar, Y. P., Biswas, S., McClements, D. J., & Lorenzo, J. M. (2020). Application of enoki mushroom (*Flammulina Velutipes*) stem wastes as functional ingredients in goat meat nuggets. *Foods*, 9(4), 432.
- Baybars, M., Ventura, K., & Weinrich, R. (2023). Can in vitro meat be a viable alternative for Turkish consumers? *Meat science*, 201, 109191.
- Ben-Arye, T., Shandalov, Y., Ben-Shaul, S., Landau, S., Zagury, Y., Ianovici, I., Lavon, N., & Levenberg, S. (2020). Textured soy protein scaffolds enable the generation of three-dimensional bovine skeletal muscle tissue for cell-based meat. *Nature Food*, 1(4), 210-220.

- Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A., & Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (MPPS): Stage 1, fish. *Acta astronautica*, 51(12), 879-889.
- Benussi, C., & Samoggia, A. (2025). A Systematic Literature Review of Cultured Meat Through the Conceptual Frameworks of the Entrepreneurial Ecosystem and Global Value Chain. *Foods*, 14(5), 885.
- Bernaerts, T. M., Gheysen, L., Foubert, I., Hendrickx, M. E., & Van Loey, A. M. (2019). The potential of microalgae and their biopolymers as structuring ingredients in food: A review. *Biotechnology advances*, 37(8), 107419.
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. *Journal of integrative agriculture*, 14(2), 241-248.
- Bleich, J. D. (2013). Survey of recent halakhic periodical literature. *Tradition: A Journal of Orthodox Jewish Thought*, 46(4), 48-62.
- Bogliotti, Y. S., Wu, J., Vilarino, M., Okamura, D., Soto, D. A., Zhong, C., Sakurai, M., Sampaio, R. V., Suzuki, K., & Izpisua Belmonte, J. C. (2018). Efficient derivation of stable primed pluripotent embryonic stem cells from bovine blastocysts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 2090-2095.
- Boland, T., Mironov, V., Gutowska, A., Roth, E. A., & Markwald, R. R. (2003). Cell and organ printing 2: Fusion of cell aggregates in three-dimensional gels. *The Anatomical Record Part A: discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology*, 272(2), 497-502.
- Bomkamp, C., Skaalure, S. C., Fernando, G. F., Ben-Arye, T., Swartz, E. W., & Specht, E. A. (2022). Scaffolding biomaterials for 3D cultivated meat: prospects and challenges. *Advanced Science*, 9(3), 2102908.
- Bonny, S. P., Gardner, G. E., Pethick, D. W., & Hocquette, J.-F. (2017). Artificial meat and the future of the meat industry. *Animal Production Science*, 57(11), 2216-2223.
- Bryant, C., & Barnett, J. (2018). Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. *Meat science*, 143, 8-17.
- Bryant, C., & Barnett, J. (2020). Consumer acceptance of cultured meat: an updated review (2018–2020). *Applied Sciences*, 10(15), 5201.
- Bryant, C. J. (2020). Culture, meat, and cultured meat. *Journal of animal science*, 98(8), skaa172.
- Bryant, C. J., & Barnett, J. C. (2019). What's in a name? Consumer perceptions of in vitro meat under different names. *Appetite*, 137, 104-113.
- Bukachi, S. A., Ngutu, M., Muthiru, A. W., Lépine, A., Kadiyala, S., & Domínguez-Salas, P. (2021). Consumer perceptions of food safety in animal source foods choice and consumption in Nairobi's informal settlements. *BMC nutrition*, 7(1), 35.
- Burhanuddin, I. H., Shukri, A. S. M., Bakar, M. B. A., Shahid, M. M., & Rahman Adam, A. (2023). Cultured meat: An appraisal from the fiqh and sufi views of Muslim scholars. *Malaysian J. Syariah & L.*, 11, 14.
- Carrier, R. L., Rupnick, M., Langer, R., Schoen, F. J., Freed, L. E., & Vunjak-Novakovic, G. (2002). Perfusion improves tissue architecture of engineered cardiac muscle. *Tissue engineering*, 8(2), 175-188.
- Catts, O., & Zurr, I. (2002). Growing semi-living sculptures: the tissue culture art project. *Leonardo*, 35(4), 365-370.

- Chen, L., Guttieres, D., Koenigsberg, A., Barone, P. W., Sinskey, A. J., & Springs, S. L. (2022). Large-scale cultured meat production: Trends, challenges and promising biomanufacturing technologies. *Biomaterials*, 280, 121274.
- Choi, K. H., Yoon, J. W., Kim, M., Lee, H. J., Jeong, J., Ryu, M., Jo, C., & Lee, C. K. (2021). Muscle stem cell isolation and in vitro culture for meat production: A methodological review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20(1), 429-457.
- Chong, M., Leung, A. K.-y., & Lua, V. (2022). A cross-country investigation of social image motivation and acceptance of lab-grown meat in Singapore and the United States. *Appetite*, 173, 105990.
- Chriki, S., & Hocquette, J.-F. (2020). The myth of cultured meat: a review. *Frontiers in nutrition*, 7, 507645.
- Cole, M., & Morgan, K. (2013). Engineering freedom? A critique of biotechnological routes to animal liberation. *Configurations*, 21(2), 201-229.
- Das, A. K., Nanda, P. K., Bandyopadhyay, S., Banerjee, R., Biswas, S., & McClements, D. J. (2020). Application of nanoemulsion-based approaches for improving the quality and safety of muscle foods: A comprehensive review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19(5), 2677-2700.
- Datar, I., & Betti, M. (2010). Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 13-22.
- Davies, M. (2016). Corpus of News on the Web (NOW). In.
- Demartini, E., Vecchiato, D., Finos, L., Mattavelli, S., & Gaviglio, A. (2022). Would you buy vegan meatballs? The policy issues around vegan and meat-sounding labelling of plant-based meat alternatives. *Food Policy*, 111, 102310.
- DeSantis, G., Fuciños, P., Pastrana, L. M., & Oliveira, S. M. (2024). Bioprinting as a fabrication method for cultivated meat. In *Cellular Agriculture* (pp. 189-202). Elsevier.
- Dolfi, E., Masi, M., Yeter, G., Marrocco, E. S., Olivieri, G., Magnani, M., Del Giudice, T., Adinolfi, F., & Vecchio, Y. (2025). Beyond the plate: exploring next generation professionals' views on cell-based meat. *British Food Journal*.
- Doreau, M., & Corson, M. S. (2017). Production de viande et ressource en eau. *La revue française de la recherche en viandes et produits carnés*, 33, 1-8.
- Ede, G., & Yalçın, H. (2023). Beslenme ve diyetetik öğrencilerinin yapay et tüketimine ilişkin tutumları. *Akademik Gıda*, 21(1), 80-89.
- Ekici, G., Karaarslan, H. H., & Kırmızı, E. N. (2022). Üniversite öğrencilerinin yapay ete yönelik tutumlarının değerlendirilmesi. *Sağlık ve Yaşam Bilimleri Dergisi*, 4(3), 260-264.
- Enrione, J., Blaker, J. J., Brown, D. I., Weinstein-Oppenheimer, C. R., Pepczynska, M., Olguín, Y., Sánchez, E., & Acevedo, C. A. (2017). Edible scaffolds based on non-mammalian biopolymers for myoblast growth. *Materials*, 10(12), 1404.
- Eser, A. G., Kecici, P. D., Yılmaz Eker, F., & Ekiz, B. (2025). The Perceptions of Turkish Consumers Regarding In Vitro Meat and the Relationship Between These Perceptions and Willingness to Try and Consume In Vitro Meat. *Veterinary Medicine and Science*, 11(2), e70314.
- FAO, & WHO. (2023). *Food safety aspects of cell-based food*.

- FAO, & WHO. (2024). *Cell-Based Food and Precision Fermentation—Products, Safety and the Future Role*. Rome, Italy: FAO Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8b8d6799-60a9-40c6-8d39-e1050eadbbac/content>
- FAO, I., UNICEF, WFP, WHO. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021* (Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all Issue.
- FDA. (2016). *Nutrition, Food Labeling, and Critical Foods*. U.S. Food & Drug Administration Retrieved from <https://www.fda.gov/food/nutrition-food-labeling-and-critical-foods>
- FDA. (2019). *Formal Agreement Between FDA and USDA Regarding Oversight of Human Food Produced Using Animal Cell Technology Derived from Cell Lines of USDA-amenable Species*. U.S. Food & Drug Administration Retrieved from <https://www.fda.gov/food/human-food-made-cultured-animal-cells/formal-agreement-between-fda-and-usda-regarding-oversight-human-food-produced-using-animal-cell>
- FDA. (2022). *FDA Completes First Pre-Market Consultation for Human Food Made Using Animal Cell Culture Technology*. U.S. Food & Drug Administration Retrieved from <https://www.fda.gov/food/hfp-constituent-updates/fda-completes-first-pre-market-consultation-human-food-made-using-animal-cell-culture-technology>
- FDA. (2023). *Human Food Made with Cultured Animal Cells Inventory*. U.S. Food & Drug Administration Retrieved from <https://www.hfpappexternal.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=AnimalCellCultureFoods>
- Feddern, V., Bernasconi, N., BOVOLATO, A. d. C., de OLIVEIRA, K., TAVERNARI, F. d. C., Gressler, V., Bastos, A., BOVOLATO, A. L. D. C., DE OLIVEIRA, K. P. V., & BASTOS, A. P. A. (2022). Jornada de Carne Cultivada: uma visão sistêmica sobre terminologias, aspectos legais, nutricionais, considerações sobre consumidor e mercado potencial, métodos e meios de cultivo.
- Fish, K. D., Rubio, N. R., Stout, A. J., Yuen, J. S., & Kaplan, D. L. (2020). Prospects and challenges for cell-cultured fat as a novel food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 53-67.
- Ford, B. J. (2010). Culturing meat for the future: anti-death versus anti-life. *Death and anti-death*, 7, 55-80.
- FSANZ. (2023). *Cell-Based Meat—Consumer Information*. Wellington, New Zealand: Food Standards Australia New Zealand
- Fu, Y., Chen, T., Chen, S. H. Y., Liu, B., Sun, P., Sun, H., & Chen, F. (2021). The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 188-200.
- Garrison, G. L., Biermacher, J. T., & Brorsen, B. W. (2022). How much will large-scale production of cell-cultured meat cost? *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100358.
- GFI. (2023). *Cultivated meat and seafood* (State of the Industry Report Issue.
- Ghasemi-Mobarakeh, L., Prabhakaran, M. P., Tian, L., Shamirzaei-Jeshvaghani, E., Dehghani, L., & Ramakrishna, S. (2015). Structural properties of scaffolds: crucial parameters towards stem cells differentiation. *World journal of stem cells*, 7(4), 728.

- Gordon, E. B., Choi, I., Amanipour, A., Hu, Y., Nikkhah, A., Koysuren, B., Jones, C., Nitin, N., Ovissipour, R., & Buehler, M. J. (2025). Biomaterials in cellular agriculture and plant-based foods for the future. *Nature Reviews Materials*, 1-19.
- Gu, Y., Li, X., & Chan, E. C. Y. (2023). Risk assessment of cultured meat. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 491-499.
- Guan, X., Zhou, J., Du, G., & Chen, J. (2022). Bioprocessing technology of muscle stem cells: implications for cultured meat. *Trends in Biotechnology*, 40(6), 721-734. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.11.004>
- Guo, D., Zhang, L., Wang, X., Zheng, J., & Lin, S. (2022). Establishment methods and research progress of livestock and poultry immortalized cell lines: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 956357.
- Hamdan, M. N., Post, M. J., Ramli, M. A., & Mustafa, A. R. (2018). Cultured meat in Islamic perspective. *Journal of religion and health*, 57(6), 2193-2206.
- Han, Y., Guo, W., Su, R., Zhang, Y., Yang, L., Borjigin, G., & Duan, Y. (2022). Effects of sheep slaughter age on myogenic characteristics in skeletal muscle satellite cells. *Animal bioscience*, 35(4), 614.
- Hayflick, L. (1965). The limited in vitro lifetime of human diploid cell strains. *Experimental cell research*, 37(3), 614-636.
- He, J., Evans, N. M., Liu, H., & Shao, S. (2020). A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19(5), 2639-2656.
- Herrero, M., Thornton, P. K., Gerber, P., & Reid, R. S. (2009). Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), 111-120.
- Hocquette, J.-F., Chriki, S., Fournier, D., & Ellies-Oury, M.-P. (2025). Will “cultured meat” transform our food system towards more sustainability? *animal*, 19, 101145.
- Hope, J. M., Bersi, M. R., Dombroski, J. A., Clinch, A. B., Pereles, R. S., Merryman, W. D., & King, M. R. (2021). Circulating prostate cancer cells have differential resistance to fluid shear stress-induced cell death. *Journal of cell science*, 134(4), jcs251470.
- Hopkins, P. D., & Dacey, A. (2008). Vegetarian meat: could technology save animals and satisfy meat eaters? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21(6), 579-596.
- House, J. (2016). Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite*, 107, 47-58.
- Huang, Z., Odeleye, A. O. O., Ye, H., Cui, Z., & Yang, A. (2018). Fluid dynamic characterization of a fluidized-bed perfusion bioreactor with CFD–DEM simulation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(8), 2316-2330.
- Humbird, D. (2021). Scale-up economics for cultured meat. *Biotechnology and Bioengineering*, 118(8), 3239-3250.
- Jara, T., Park, K., Vahmani, P., Van Eenennaam, A., Smith, L., & Denicol, A. (2023). Stem cell-based strategies and challenges for production of cultivated meat. *Nature Food*, 4(10), 841-853.
- Javaid, M., & Haleem, A. (2019). 4D printing applications in medical field: a brief review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(3), 317-321.

- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B., & Purchas, R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of integrative agriculture*, 14(2), 222-233.
- Kafi, M. A., Aktar, M. K., Phanny, Y., & Todo, M. (2019). Adhesion, proliferation and differentiation of human mesenchymal stem cell on chitosan/collagen composite scaffold. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 30(12), 131.
- Kamalapuram, S. K., & Choudhury, D. (2024). Industry 4.0 technologies for cultivated meat manufacturing. *Food Bioengineering*, 3(1), 14-28.
- Kashim, M. I. A. M., Haris, A. A. A., Mutalib, S. A., Anuar, N., & Shahimi, S. (2023). Scientific and Islamic perspectives in relation to the Halal status of cultured meat. *Saudi journal of biological sciences*, 30(1), 103501.
- Kenigsberg, J. A., & Zivotofsky, A. Z. (2020). A Jewish religious perspective on cellular agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 128.
- Ketelings, L., Kremers, S., & De Boer, A. (2021). The barriers and drivers of a safe market introduction of cultured meat: A qualitative study. *Food Control*, 130, 108299.
- Kirsch, M., Morales-Dalmau, J., & Lavrentieva, A. (2023). Cultivated meat manufacturing: Technology, trends, and challenges. *Engineering in Life Sciences*, 23(12), e2300227.
- Laestadius, L. I. (2015). Public perceptions of the ethics of in-vitro meat: Determining an appropriate course of action. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28(5), 991-1009.
- Lanzoni, D., Rebucci, R., Formici, G., Cheli, F., Ragone, G., Baldi, A., Violini, L., Sundaram, T., & Giromini, C. (2024). Cultured meat in the European Union: Legislative context and food safety issues. *Current research in food science*, 8, 100722.
- Lee, D. Y., Lee, S. Y., Jung, J. W., Kim, J. H., Oh, D. H., Kim, H. W., Kang, J. H., Choi, J. S., Kim, G.-D., & Joo, S.-T. (2023). Review of technology and materials for the development of cultured meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(27), 8591-8615.
- Li, B.-j., Li, P.-h., Huang, R.-h., Sun, W.-x., Wang, H., Li, Q.-f., Chen, J., Wu, W.-j., & Liu, H.-l. (2015). Isolation, culture and identification of porcine skeletal muscle satellite cells. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 28(8), 1171.
- Li, J., Liu, Y., Zhang, Y., Yao, B., Enhejirigala, Li, Z., Song, W., Wang, Y., Duan, X., & Yuan, X. (2021). Biophysical and biochemical cues of biomaterials guide mesenchymal stem cell behaviors. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 640388.
- Li, X., Zhang, G., Zhao, X., Zhou, J., Du, G., & Chen, J. (2020). A conceptual air-lift reactor design for large scale animal cell cultivation in the context of in vitro meat production. *Chemical Engineering Science*, 211, 115269.
- Liu, M., Liu, T., Chen, X., Yang, J., Deng, J., He, W., Zhang, X., Lei, Q., Hu, X., & Luo, G. (2018). Nano-silver-incorporated biomimetic polydopamine coating on a thermoplastic polyurethane porous nanocomposite as an efficient antibacterial wound dressing. *Journal of nanobiotechnology*, 16(1), 89.
- Liu, P., Song, W., Bassey, A. P., Tang, C., Li, H., Ding, S., & Zhou, G. (2023). Preparation and quality evaluation of cultured fat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(9), 4113-4122.
- Luo, T. (2022). A small-molecule approach towards the Fountain of Youth: chemically induced pluripotent stem cells. *National Science Review*, 9(11), nwac181.

- Lynch, J., & Pierrehumbert, R. (2019). Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 421491.
- Marushima, A., Nieminen, M., Kremenetskaia, I., Gianni-Barrera, R., Woitzik, J., von Degenfeld, G., Banfi, A., Vajkoczy, P., & Hecht, N. (2020). Balanced single-vector co-delivery of VEGF/PDGF-BB improves functional collateralization in chronic cerebral ischemia. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 40(2), 404-419.
- Mateti, T., Laha, A., & Shenoy, P. (2022). Artificial meat industry: Production methodology, challenges, and future. *Jom*, 74(9), 3428-3444.
- Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R., & Genovese, N. J. (2015). Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in the United States. *Environmental science & technology*, 49(19), 11941-11949.
- Mehta, F., Theunissen, R., & Post, M. J. (2018). Adipogenesis from bovine precursors. In *Myogenesis: Methods and protocols* (pp. 111-125). Springer.
- Melzener, L., Verzijden, K. E., Buijs, A. J., Post, M. J., & Flack, J. E. (2021). Cultured beef: from small biopsy to substantial quantity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 7-14.
- Messmer, T., Klevernic, I., Furquim, C., Ovchinnikova, E., Dogan, A., Cruz, H., Post, M. J., & Flack, J. E. (2022). A serum-free media formulation for cultured meat production supports bovine satellite cell differentiation in the absence of serum starvation. *Nature Food*, 3(1), 74-85.
- Metcalfe, J. (2013). Meat shmeat: Food system ethics, biotechnology and re-worlding technoscience. *Parallax*, 19(1), 74-87.
- Miyake, Y., Tachikawa, M., & Kohsaka, R. (2023). Policy frameworks and regulations for the research and development of cell-based meats: systematic literature review. *Food Research International*, 167, 112599.
- Moslemy, N., Sharifi, E., Asadi-Eydivand, M., & Abolfathi, N. (2023). Review in edible materials for sustainable cultured meat: scaffolds and microcarriers production. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(12), 6182-6191.
- Mottet, A., De Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global food security*, 14, 1-8.
- Mullins, J. (2006). The stuff of beams. *New Scientist*(2551), 44-47.
- Myers, G. M., Jaros, K. A., Andersen, D. S., & Raman, D. R. (2023). Nutrient recovery in cultured meat systems: Impacts on cost and sustainability metrics. *Frontiers in nutrition*, 10, 1151801.
- Newton, P., & Blaustein-Rejto, D. (2021). Social and economic opportunities and challenges of plant-based and cultured meat for rural producers in the US. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 624270.
- Nienow, A. W. (2021). The impact of fluid dynamic stress in stirred bioreactors—the scale of the biological entity: a personal view. *Chemie Ingenieur Technik*, 93(1-2), 17-30.
- Ong, K. J., Tejeda-Saldana, Y., Duffy, B., Holmes, D., Kuk, K., & Shatkin, J. A. (2023). Cultured meat safety research priorities: Regulatory and governmental perspectives. *Foods*, 12(14), 2645.
- Park, S.-M., Ryoo, J.-H., Kwon, H. C., & Han, S. G. (2025). Scaffold biomaterials in the development of cultured meat: A review. *Food science of animal resources*, 45(3), 688.

- Pasitka, L., Cohen, M., Ehrlich, A., Gildor, B., Reuveni, E., Ayyash, M., Wissotsky, G., Herscovici, A., Kaminker, R., & Niv, A. (2023). Spontaneous immortalization of chicken fibroblasts generates stable, high-yield cell lines for serum-free production of cultured meat. *Nature Food*, 4(1), 35-50.
- Place, T. L., Domann, F. E., & Case, A. J. (2017). Limitations of oxygen delivery to cells in culture: An underappreciated problem in basic and translational research. *Free Radical Biology and Medicine*, 113, 311-322.
- Porto de Souza Vandenberghe, L., Murawski de Mello, A. F., Biagini, G., Gruening de Mattos, P. B., Negreiros Piazenski, I., Manica Candelario, J. P., & Soccol, C. R. (2024). Bioreactors for Cultivated Meat Production. In *Cultivated Meat: Technologies, Commercialization and Challenges* (pp. 107-130). Springer.
- Post, M. J., Levenberg, S., Kaplan, D. L., Genovese, N., Fu, J., Bryant, C. J., Negowetti, N., Verzijden, K., & Moutsatsou, P. (2020). Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, 1(7), 403-415.
- Quek, J. P., Gaffoor, A. A., Tan, Y. X., Tan, T. R. M., Chua, Y. F., Leong, D. S. Z., Ali, A. S., & Ng, S. K. (2024). Exploring cost reduction strategies for serum free media development. *npj Science of Food*, 8(1), 107.
- Ramachandraiah, K., Han, S. G., & Chin, K. B. (2015). Nanotechnology in meat processing and packaging: potential applications—a review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 28(2), 290.
- Risner, D., Negulescu, P., Kim, Y., Nguyen, C., Siegel, J. B., & Spang, E. S. (2024). Environmental impacts of cultured meat: A cradle-to-gate life cycle assessment. *ACS food science & technology*, 5(1), 61-74.
- Rodríguez Escobar, M. I., Cadena, E., Nhu, T. T., Cooreman-Algoed, M., De Smet, S., & Dewulf, J. (2021). Analysis of the cultured meat production system in function of its environmental footprint: current status, gaps and recommendations. *Foods*, 10(12), 2941.
- Roehm, K. D., Hornberger, J., & Madhally, S. V. (2016). In vitro characterization of acellular porcine adipose tissue matrix for use as a tissue regenerative scaffold. *Journal of biomedical materials research Part A*, 104(12), 3127-3136.
- Rubio, N. R., Fish, K. D., Trimmer, B. A., & Kaplan, D. L. (2019). In vitro insect muscle for tissue engineering applications. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 5(2), 1071-1082.
- Rubio, N. R., Xiang, N., & Kaplan, D. L. (2020). Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nature communications*, 11(1), 6276.
- Santo, R. E., Kim, B. F., Goldman, S. E., Dutkiewicz, J., Biehl, E., Bloem, M. W., Neff, R. A., & Nachman, K. E. (2020). Considering plant-based meat substitutes and cell-based meats: a public health and food systems perspective. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 569383.
- Seah, J. S. H., Singh, S., Tan, L. P., & Choudhury, D. (2022). Scaffolds for the manufacture of cultured meat. *Critical reviews in biotechnology*, 42(2), 311-323.
- Senato della Repubblica, I. (2023). *Atto Senato n. 651; Disposizioni in Materia di Divieto di Produzione e di Immissione sul Mercato di Alimenti e Mangimi Sintetici*. Rome, Italy: Senato

- Seyed, M. A., & Vijayaraghavan, K. (2018). Physicochemical characterization and bioactivity of an improved chitosan scaffold cross-linked with polyvinyl alcohol for corneal tissue engineering applications.
- SFA. (2024). *Guidelines on Novel Food*. Singapore Food Agency Retrieved from <https://www.sfa.gov.sg/regulatory-standards-frameworks-guidelines/novel-food-framework/guidelines-on-novel-food>
- Sha, L., & Xiong, Y. L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 51-61.
- Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., van Diemen, R., McCollum, D., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., & Fradera, R. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change* (Contribution of working group III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Issue.
- Siegrist, M., Sütterlin, B., & Hartmann, C. (2018). Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat science*, 139, 213-219.
- Sikka, T. (2020). The "Embodied Multi-Material Layering" of In Vitro Meat. *Techné: Research in Philosophy & Technology*, 24.
- Sikora, D., & Rzymski, P. (2023). The heat about cultured meat in Poland: a cross-sectional acceptance study. *Nutrients*, 15(21), 4649.
- Skripnuk, D. F., Davydenko, V. A., Romashkina, G. F., & Khuziakmetov, R. R. (2021). Consumer trust in quality and safety of food products in western Siberia. *Agronomy*, 11(2), 257.
- Slade, P. (2018). If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based and cultured meat burgers. *Appetite*, 125, 428-437.
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., & Heinz, V. (2015). Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), 1254-1267.
- Smith-Uchotski, R., & Wanjiru, P. (2022). Hazard identification: Identification of hazards in meat products manufactured from cultured animal cells. *assessment*.
- Sogore, T., Guo, M., Sun, N., Jiang, D., Shen, M., & Ding, T. (2024). Microbiological and chemical hazards in cultured meat and methods for their detection. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 23(4), e13392.
- Soice, E., & Johnston, J. (2021). Immortalizing cells for human consumption. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11660.
- Southey, F. (2021). *Cultivated, cultured, or other? Making alt meat terminology appealing and transparent*. www.foodnavigator.com/Article/2021/10/27/The-best-terminology-for-cell-based-meat-Experts-weigh-in
- Specht, E. A., Welch, D. R., Clayton, E. M. R., & Lagally, C. D. (2018). Opportunities for applying biomedical production and manufacturing methods to the development of the clean meat industry. *Biochemical Engineering Journal*, 132, 161-168.
- 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.

- Stephens, N., Sexton, A. E., & Driessen, C. (2019). Making sense of making meat: key moments in the first 20 years of tissue engineering muscle to make food. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 45.
- Stevens, H., & Ruperti, Y. (2024). Smart food: novel foods, food security, and the Smart Nation in Singapore. *Food, Culture & Society*, 27(3), 754-774.
- Sugii, S., Wong, C. Y. Q., Lwin, A. K. O., & Chew, L. J. M. (2023). Alternative fat: redefining adipocytes for biomanufacturing cultivated meat. *Trends in Biotechnology*, 41(5), 686-700.
- Sürek, E., & Uzun, P. (2020). Geleceğin alternatif protein kaynağı: Yapay et. *Akademik Gıda*, 18 (2), 209-216. In.
- Tabata, Y., Horiguchi, I., Lutolf, M. P., & Sakai, Y. (2014). Development of bioactive hydrogel capsules for the 3D expansion of pluripotent stem cells in bioreactors. *Biomaterials Science*, 2(2), 176-183.
- Tucker, C. A. (2014). The significance of sensory appeal for reduced meat consumption. *Appetite*, 81, 168-179.
- Tuomisto, H., Ellis, M., & Haastrup, P. (2014). Environmental impacts of cultured meat: alternative production scenario. 9th International conference on life cycle assessment in the agri-food sector, San Francisco, CA,
- Tuomisto, H. L., & Teixeira de Mattos, M. J. (2011). Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental science & technology*, 45(14), 6117-6123.
- Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., & Naska, A. (2024). Guidance on the scientific requirements for an application for authorisation of a novel food in the context of Regulation (EU) 2015/2283. *Efsa Journal*, 22(9), e8961.
- Verbeke, W., Sans, P., & Van Loo, E. J. (2015). Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. *Journal of integrative agriculture*, 14(2), 285-294.
- Wang, X., Ali, M. S., & Lacerda, C. M. (2018). A three-dimensional collagen-elastin scaffold for heart valve tissue engineering. *Bioengineering*, 5(3), 69.
- Wang, Y., Xiao, X., & Wang, L. (2020). In vitro characterization of goat skeletal muscle satellite cells. *Animal Biotechnology*, 31(2), 115-121.
- Weisberg, Z. (2015). Biotechnology as end game: Ontological and ethical collapse in the “biotech century”. *Nanoethics*, 9(1), 39-54.
- Wilks, M., & Phillips, C. J. (2017). Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. *PloS one*, 12(2), e0171904.
- Wood, P., & Tavan, M. (2022). A review of the alternative protein industry. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100869.
- Xiang, N., Yao, Y., Yuen Jr, J. S., Stout, A. J., Fennelly, C., Sylvia, R., Schnitzler, A., Wong, S., & Kaplan, D. L. (2022). Edible films for cultivated meat production. *Biomaterials*, 287, 121659.
- Yu, M., Wang, H., Xu, Y., Yu, D., Li, D., Liu, X., & Du, W. (2015). Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) promotes myoblast proliferation and skeletal muscle growth of embryonic chickens via the PI3K/Akt signalling pathway. *Cell biology international*, 39(8), 910-922.

- Yuan, Y. (2018). Capturing bovine pluripotency. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 1962-1963.
- Zahari, I., Östbring, K., Purhagen, J. K., & Rayner, M. (2022). Plant-based meat analogues from alternative protein: A systematic literature review. *Foods*, 11(18), 2870.
- Zaitseva, N., Zelenkin, S., Shur, P., & Suvorov, D. (2023). Identification of potential hazards and analysis of critical control points in cultured meat (in vitro meat) production. *Voprosy Pitaniia*, 92(6), 45-53.
- Zandonadi, R. P., Ramos, M. C., Elias, F. T. S., & Guimarães, N. S. (2025). Global insights into cultured meat: Uncovering production processes, potential hazards, regulatory frameworks, and key challenges—A scoping review. *Foods*, 14(1), 129.
- Zaraska, M. (2013). Lab-grown beef taste test: 'Almost' like a burger. *The Washington Post*.
- Zhang, J., Li, X., Liu, H., Zhou, J., Chen, J., & Du, G. (2021). Hydrodynamics and mass transfer in spinner flasks: Implications for large scale cultured meat production. *Biochemical Engineering Journal*, 167, 107864.

Bu rapor KOSAM tarafından
özel olarak hazırlanmıştır.
www.kosam.org