



İn Vitro Etin Üretimi ve Besleyici Değeri

Büşra ÇAKALOĞLU EBCİM¹, Emine NAKİLCİOĞLU¹ ve Semih ÖTLEŞ¹

How to cite: Çakaloğlu Ebcim, B., Nakilcioğlu Taş, E., & Ötleş, S. (2021). İn vitro etin üretimi ve besleyici değeri. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 189-201. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.935965>

Derleme

Sorumlu Yazar

Büşra ÇAKALOĞLU EBCİM
busracakaloglu12@gmail.com

Yazarlara ait ORCID

B.Ç.E: 0000-0003-4206-585X
E.N.T: 0000-0003-4334-2900
S.Ö: 0000-0003-4571-8764

Received: 22.05.2021

Accepted: 25.11.2021

Öz

Hızlı nüfus artışı beraberinde sınırlı kaynakların yetersizliği sorununu da getirir. Beslenme alışkanlığımız olarak protein ihtiyacımızın çoğunu etten karşılamamıza rağmen et sınırlı bir kaynaktır. Bu da bizi alternatif yöntemler araştırmaya yönlendirir. Bunlardan birisi in vitro ettir. Beslenmemizde tükettiğimiz et; kesimden sonra hücrelerin oksijenden mahrum kalması nedeniyle gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonların ardından olgunlaşan kas dokusudur. İn vitro et ise; canlı bir hayvandan alınan kök hücrelerden üretilen kas dokudur. Yapılan bu çalışmada, günümüze kadar in vitro et hakkında bilgiler ve yapılan çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İn vitro et, yapay et, sentetik et, laboratuvar eti, kültürlenmiş et

In Vitro Meat Production and Nutritional Value

¹Ege Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Gıda Mühendisliği
Bölümü, İzmir, Türkiye

Bu çalışma Creative Commons
Attribution 4.0 International
License ile lisanslanmıştır

Abstract

With the increase in the population, the insufficiency of limited resources comes into consideration. As our dietary habit, we get most of our protein needs from meats. But meat is a limited source. This leads us to search for alternative sources. One of them is in vitro meat. The meat we consume in our diet; is muscle tissue that matures after biochemical reactions that occur due to the cells being deprived of oxygen after cutting. If in vitro meat; is muscle tissue produced from stem cells from a living animal. In this study, the researches and knowledge about in vitro meat until today are compiled.

Keywords: In vitro meat, artificial meat, synthetic meat, lab-grown meat, cultured meat

Giriş

Proteinler beslenmemizin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İnsanlar son zamanlarda karbonhidrat ağırlıklı beslenmenin getirdiği bazı olumsuzlukların (kilo artışı, yorgunluk, şeker hastalığı vb.) farkına varmıştır. Beslenmede protein tüketimi çoğu zaman göz ardı edilmiştir. Bunun sebebi en bilinen protein kaynaklı gıdalar arasında bulunan et ve ürünlerine ulaşmanın ekonomik anlamda zor olması, buna karşılık karbonhidrat ağırlıklı beslenmenin ucuz ve hızlı olmasından dolayı daha cazip gelmesidir. Ancak son zamanlarda özellikle yüksek miktarda protein içeren gıdaların tüketiminde büyük bir artış

meydana gelmiştir. Proteinlerin pek çok kaynağı olmakla birlikte et ve ürünlerinden alınan bileşenlerin tamamının, diğer gıdalar ile aynı şekilde ve miktarda vücudumuza alamadığımız gibi bir gerçeklik söz konusudur. İnsan beslenmesinde bitkisel ve hayvansal kaynaklı proteinlerin önemi göz ardı edilemez. Her iki protein kaynağına da vücudumuzun ihtiyacı vardır. Sadece hayvansal protein veya sadece bitkisel protein kaynaklı beslenmek dengeli beslenmek olmamakta, yetersiz bir beslenme olarak değerlendirilmektedir [1]. Et, bilindiği üzere, sınırlı kaynaklardan elde edilmektedir ve günümüzde insan nüfusunun artması nedeniyle baş gösteren gıda kaynaklarının yetersizliği sorunu katlanarak devam etmektedir. Önümüzdeki yıllarda ise bu sorunun açıkça beslenme düzenimizi önemli düzeyde etkileyeceği aşikardır. Bu durum alternatif kaynakların araştırılmasına neden olmuştur [2, 3].

Çalışmamızda bu alternatiflerden birisi olan in vitro et hakkında yapılan çalışmalar ve bu konudaki bilgiler derlenmiştir. Bildiğimiz üzere ülkemizde bu konuda yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmamızın, yapılacak yeni çalışmalara zemin hazırlayacağını düşünmekteyiz.

İn Vitro Et Nedir?

Beslenmemizde tükettiğimiz et; kesimden sonra hücrelerin oksijenden mahrum kalması nedeniyle gerçekleşen bir takım biyokimyasal reaksiyonların ardından olgunlaşan kas dokusudur. İn vitro et ise; canlı bir hayvandan alınan kök hücrelerden üretilen kas doku olarak ifade edilebilir [1, 4]. İn vitro etin ortaya çıkması beraberinde çok sayıda soruyu da akla getirmiştir. Bunların bir tanesi bu ete verilecek isimdir. İsim seçiminin bu ürünü insanlara tanıtmak ve tüketicilerin tercihlerini olumlu yönde etkilemek konusunda ne kadar önemli olduğu Bryant ve Barnett'ın [5] çalışmasında ele alınmıştır. Bunlara göre hali hazırda laboratuvarında üretilen bir ete karşı fazlasıyla önyargılı yaklaşan insanlar isimden de olumsuz etkilenebiliyorlar. İsim seçiminin in vitro etin tanıtımında tahmin edilenden daha fazla rol oynadığı bu çalışma sonucunda kanıtlanmıştır. İn vitro eti ifade etmek amacıyla kullanılacak ismin, potansiyel tüketicilerde nasıl tepkilere neden olduğu ve nasıl algılandığı hakkında yapılan çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Hollanda Maastricht Üniversitesi'nden Profesör Mark Post ve ekibi [18] 2013 yılında hayvanlardan aldıkları kök hücreleri laboratuvar koşullarında olgunlaşmış kas dokusu haline getirmişlerdir. Laboratuvar koşullarında sadece 3 ayda 10000 kas şeridini birleştirerek elde ettikleri eti bir hamburger köftesi olarak tadıma sunmuşlardır (Şekil 1). En çok ses getiren yapay et çalışması bu çalışmadır ancak bu, konu üzerinde yapılan ilk çalışma değildir.

Tablo 1. İn vitro eti ifade etmek için kullanılan isimler ve tüketici tepkileri

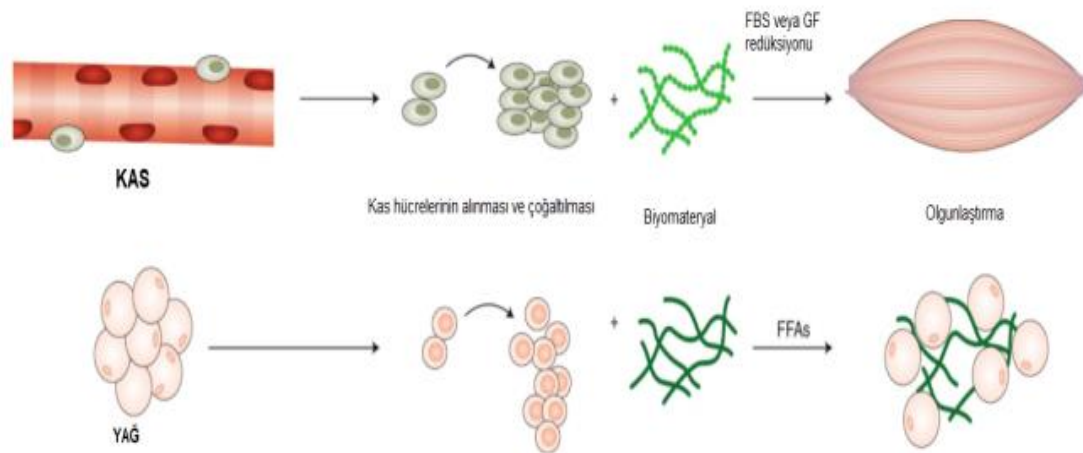
İsim	Kaynak	Tepki
Kültürleşmiş et	Bekker ve ark. [6]	Katılımcılar bu isme negatif yaklaşmışlardır.
	Hart Research Associates [7]	Katılımcılar bu isme negatif yaklaşmışlardır.
	The Grocer [8]	İngiltere’de yapılan bu çalışmada katılımcıların %16’sı bu isme olumlu yaklaşmıştır.
Laboratuvar eti	Smith [9]; Washington Post [10]	Amerika’da yapılan çalışmalarda katılımcıların %20’si laboratuvarda yetiştirilmiş eti yiyebileceklerini ifade etmişlerdir.
Temiz et	The Good Food Institute [11]	Bu çalışmada katılımcılar temiz et ismini kültürleşmiş et ve saf et isimlerinden daha uygun gördüklerini dile getirmişlerdir.
	Animal Charity Evaluators [12]	Bu çalışmada temiz et ismine kültürleşmiş et isminden daha pozitif yaklaştıkları ortaya çıkmıştır.
İn vitro et	Verbeke ve ark. [13]	Bu çalışmadaki Hollandalı katılımcıların %24’ü "kesinlikle" "kültürleşmiş et" olarak da adlandırılan in vitro eti denemeye isteklidir.
	Hocquette ve ark. [14]	Katılımcıların %9.2 ile %19.2’si in vitro et satın alabileceklerini, bu isme pozitif yaklaştıklarını belirtmişlerdir.
Sentetik et	Verbeke ve ark. [13]; Marcu ve ark. [15]	Avrupalı katılımcılar çevre ve hayvanlar için fazlasıyla toplumsal faydanın olduğunu ancak sentetik etin insan sağlığı üzerindeki etkisi ve çiftçiliğin geçim kaynakları konularında endişeli olduklarını belirtmişlerdir.
Yapay et	Heid [16]	İngiltere’de katılımcıların %19’u yapay et olarak adlandırılan bu ürünü tüketmeye pozitif yaklaştıklarını dile getirmişlerdir.

*Şekil 1. Laboratuvarada elde edilen et ile üretilen hamburger köftesi [17]*

1990'lı yıllarda hayvan hücrelerinden alınan kök hücreler kültürlenerek, kas doku üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), hindi hücrelerinden kas kültürü oluşturmak üzere çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda ilk yenilebilir kültür balık filetosu, akvaryum balığı hücrelerinden elde edilmiştir. [19, 20]. Belirtildiği üzere in vitro et düşüncesinin temelleri 90'lı yıllarda atılmıştır ancak ilk defa bunu teoriden bir gerçekliğe dönüştüren çalışma [18] olarak 2013 yılında üretilen hamburger köftesi kabul edilmektedir.

İn Vitro Etin Üretim Teknikleri

Kök hücreler, olgun kas dokusundan ve yağ dokusu öncülerinden alınır ve çoğaltılır. Prosedür Şekil 2'de özetlenmiştir. Olgun kas lifleri ve yağ dokusu parçaları, bir jel biyomateryali ve belirli bir farklılaştırma protokolü kullanılarak oluşturulur ve olgunlaştırılır. Kas olgunlaşması, fetal sığır serumu konsantrasyonlarının (FBS) %20 'den %2 'ye düşürüldüğü ortam veya serum destekleyici büyüme faktörü (GF) karışımının (on kat azalma) konsantrasyonlarının redüksiyonunun sağlandığı ortamda gerçekleştirilir. Yağ dokusundan türetilen kök hücreler, serbest yağ asitleri (FFA'lar) varlığında olgunlaşır [18].



Şekil 2. Kas ve yağ hücrelerinin çoğaltılması [18]

Yapı iskelesi, self-organizasyon gibi çeşitli teknikler kullanılarak oluşturulur ve etin küçük ölçeklerde üretimini sağlamaktadır [19]. Bununla birlikte, yüksek düzeyde yapılandırılmış, işlenmemiş et üretimi önemli ölçüde daha büyük teknik zorluklarla karşı karşıyadır ve endüstriyel ölçekte sürdürülebilir bir in vitro et kültürü sistemi oluşturmak için hala çok sayıda araştırma yapılması gerekmektedir [3, 21]. Bir in vitro et üretim sistemi için farklı tasarım yaklaşımları bulunmaktadır. Bunların tümü difüzyon bariyerini aşmak için tasarlanmış olup, şu anda kullanımda olanlardan (iskele / hücre kültürü ve kendi kendini organize etme / doku kültürü temelli) spekülatif olasılıkları olanlara (organ print, biyofotonik, nanoteknoloji) kadar uzanır [22].

Hücre Kültürü-İskele Yapısı Tekniği

Bu teknikte, bir çiftlik hayvanı embriyosundan veya bir çiftlik hayvanı kas biyopsisinden izole edilen iskelet kası hücrelerinden izole edilen embriyonik miyoblastlar çoğaltılır ve bir kolajen ağ örgüsü veya mikro taşıyıcı gibi bir iskeleye bağlanır. Daha sonra bir dönen veya sabit bir reaktöre besinler ve büyüme faktörleri açısından zengin bir kültür ortamı ile doldurularak aktarılır [22]. Çeşitli çevresel ipuçlarının yardımıyla, bu hücreler miyotüpler oluşturmak için birleşirler. Miyotüpler, farklılaştırma ortamlarının yardımıyla miyofibere farklılaşır [23]. Elde edilen çok sayıda miyofiber daha sonra iskeleden hasat edilebilir, kıyılabilir ve kıyılmış ve emülsiyon bazlı et ürünlerinin hazırlanmasında kullanılabilir. Hücre kültürüne dayalı bu teknikler yardımıyla, yumuşak kıvamda öğütülmüş kemiksiz etler üretilebilir; ancak biftek gibi etler üretilemez. Bununla birlikte hücreler, daha sert yapılar üreten "kendi kendini organize eden yapıların" geliştirilmesine izin veren substratlarda da büyütülebilir. Kolajen gibi doğal ve yenilebilir biyomateryaller kullanılarak geliştirilen, 3 boyutlu doku kültürü ve etin karmaşık yapılandırılmasına izin veren iskeleler, önerilmiş ve denenmiştir [24].

Kendi Kendini Organize Eden- Doku Kültürü Tekniği

Yapılandırılmış etin kendi kendini organize eden yapılar şeklinde üretilmesi için daha iddialı bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır [25]. Benjaminson ve ark. [26] Altın balıktan (*Carassius auratus*) izole ettikleri kas hücrelerini farklı besin ortamlarında geliştirerek büyüme oranlarını gözlemlemişlerdir. Bahsi geçen hücreler 7 gün boyunca sığır serumu, Maitake bitki ekstresi ve altın balık iskelet kas hücrelerini içeren besin ortamlarında kültürlenmiştir (Şekil 3). Buna göre sığır serumu kullanıldığında dokuların büyüme oranı %14, Maitake mantarı ekstresi kullanıldığında %13, altın balık iskelet kas hücrelerini içeren besin ortamı kullanıldığında ise %79 olarak belirlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar; iskelet kas hücreleri ile kültürlenen dokuların görünüş olarak taze balık filetosunu andırdığını vurgulamışlardır. Doku kültürü tekniklerinin yararı, eksplantların in vivo durumu yakından taklit etmesi ve elde edilen eksplantların, eti doğru oranlarda oluşturan tüm dokuları içermesidir.



Şekil 3. Benjaminson ve ark., [26] çalışmasında kullanılan Altın balık (*Carassius auratus*)

Tamamen yapay kas üretimi için Mironov ve ark., [29], besinlerin perfüze edilebildiği ve miyoblastların ve diğer hücre tiplerinin bağlanabildiği, yenilebilir gözenekli polimerden oluşan bir dallanma ağı kavramı vermiştir [27]. Doku mühendisliği amacıyla yapay kılcal damarların kullanıldığı böyle bir tasarım önerilmiştir [28]. Miyoblastları, miyoidler gibi diğer hücre türleriyle birlikte kültürleyerek, gerçek kaslarla hemen hemen aynı şekilde organize edilebilen daha gerçekçi bir kas yapısı oluşturmak mümkündür [3].

Organ Baskısı (Print) Tekniği

Teknik esas olarak, canlı hücrelerin, halkalar, tüpler veya tabakalar gibi herhangi bir şekle sahip 3 boyutlu yapıları oluşturmak için kaynaşan katmanlar halinde püskürtülmesini içerir. Böylelikle, baskı yoluyla tüm organları üretmenin fizibilitesi mümkündür. Bu sadece organın temel hücresel yapısına sahip olmasıyla kalmaz, aynı zamanda, tüm ürüne bir kan tedariki sağlayan, katman katman üretilen, uygun vaskülarizasyonu da içerecektir [3, 22]. Ayrıca tüketim amaçlı et üretimi açısından yağ da eklenerek lezzet ve yapı kazandırılabilir. [24, 29, 30].

Biyofotonik Tekniği

Lazerlerin madde parçacıklarını belirli organizasyonel yapılara hareket ettirme etkisine dayanan in vitro et üretimi için yeni bir olası teknik olan biyofotonik, madde parçacıklarını birbirine bağlamak için ışığın kullanıldığı bir işlemdir. Bahsi geçen bu teknik; bir grup parçacık arasında, onları yalnızca birer birer belirli yerlere hareket ettirmeye değil, aynı zamanda yapıları oluşturmaya ikna edebilecek bir bağlayıcı etkiye sahiptir. Kırmızı kan hücreleri bu teknik kullanılarak üretilebilmiştir. 2D diziler oluşturmanın başarısı göz önüne alındığında, hücreleri bir arada tutmak için yalnızca ışığı kullanan doku oluşumlarının üretilebilmesi mümkündür. Böylece iskele ihtiyacı da ortadan kalkmış olur [24].

Nanoteknoloji Tekniği

İn vitro etin bir başka ileriye dönük üretim tekniği olan nanoteknoloji, malzemelerin atom ve molekül seviyesinde üretilmesi ve değiştirilmesidir. Her şeyin aynı temel atomlardan yapıldığı, ancak basitçe farklı şekillerde düzenlendiği şeklindeki temel kavramı bilmek, tam olarak istediğimiz molekülleri bir araya getirerek neredeyse istediğimiz her maddeyi sıfırdan inşa edebileceğimiz anlamına gelir. İlginç bir şekilde, nanoteknoloji spekülatif teknolojisine verilen ilk örneklerden biri sentezlenmiş ettir [22, 31].

Geleneksel Et Üretimindeki Zorluklar ve Alternatif Et Kaynaklarının Araştırılmasının Sebepleri

- Kaynakların sınırlı olması
- Her geçen gün nesli tükenen hayvanlar
- Et üretimi için gereken yerleşim alanı (hayvan çiftlikleri), yem, mevcut hastalıklar gibi önemle ilgilenilmesi gereken birçok konu ve bunların maliyetleri

- Hayvanların öldürülüyor oluşu
- Et üretmek için tüketilen su miktarı (1 ton için yaklaşık 15000 m³) ve ortaya çıkan çevresel kirlilikler
- Birkaç yılda verim alınabilmesi
- Katı hijyen kuralları
- Farklı inanışlara göre farklı sertifikalar ve uygulamaların yapılması
- Ekonomik nedenler

Günümüzdeki et üretiminde göze çarpan dezavantajlardandır [14, 22, 32]. Bahsi geçen zorluklar, alternatif kaynakların araştırılmasına hız kazandırmıştır. Bunlardan en çok ses getiren ve umut vadeden seçenek ise in vitro et olmuştur.

İn Vitro Etin Avantajları

İn vitro et, geleneksel ete göre çeşitli faydalar sunabilir. Bunların arasında en önemli faydası, et tüketenlerin tüm beslenme ve hedonistik ihtiyaçlarını karşılarken, et tüketenlerin gereksinimlerini karşılamak için hayvan kesimini içermediği için hayvanların ıstırabını büyük ölçüde azaltabilmesidir [33]. İn vitro et üretim sistemleri ayrıca lezzet, yağ asidi bileşimi, yağ içeriği ve özellikle doymuş yağ asitlerinin doymamış yağ asitlerine oranını değiştirerek et bileşimi ve kalitesi üzerinde kontrol sağlayabilir [22]. Ek olarak, ete formülasyonu sırasında bileşenleri manipüle edilerek çeşitli sağlık artırıcı ve fonksiyonel bileşenler eklenebilir [34]. İn vitro et teknikleri, nesli tükenmekte olan türleri kullanarak potansiyel olarak yeni egzotik et çeşitleri geliştirebilir. Ayrıca vejetaryenler için yeni et çeşitleri geliştirmek için de kullanılabilir. İn vitro et üretim sistemleri, metabolizma ve ekstra organların gelişimi sırasında boşa harcanacak olan enerjiyi yalnızca iskelet kaslarının gelişimi için kullanmak üzere muhafaza ettikleri için enerji ve zaman açısından verimlidir. Ayrıca, in vitro et üretim teknikleri kullanılarak, doku mühendisliği et üretimini hızlandıracığından, tavuk ve sığır gibi hayvanların aylarca ve yıllarca yetiştirilmesi gereksiz olacaktır [35]. 2008'de Norveç'te ilk defa düzenlenen "In vitro Et Sempozyumu"nda, ilk ticari in vitro et ürünlerinin önümüzdeki 5 ila 10 yıl içinde Avrupa sığır eti ile rekabet edebilecek fiyatlarla (ton başına ~ 5200 \$- 5500 \$ veya 3300–3500 \$) ticari olarak temin edilebileceği ortaya atılmıştır [36]. İn vitro et üretimi aynı zamanda doğal kaynaklara ve arazi kaynaklarına bağımlılığı da azaltacak ve bu da o araziye diğer amaçlar için kullanma fırsatı sağlayacaktır [37]. İn vitro et üretimi, çevre üzerinde düşük olumsuz etkilere sahip et üretiminin nispeten insancıl bir yoludur; dolayısıyla bilimsel, çevresel ve hayvan hakları topluluklar tarafından teşvik edilecektir [38]. Ayrıca in vitro et üretimi, çoğunlukla hayvanlar tarafından yayılan hastalıkların görülme sıklığını da azaltabilir. İn vitro et yerel olarak üretilbildiğinden, ürünün tüketiciye ulaştırılması için yapılan nakliye maliyetlerini düşürür. Bu da karbondioksit emisyonlarını ve sığırların rumeninden atmosfere salınan metan hacmini azaltır. Bir sera gazı olarak, metan atmosferde çok daha az bulunur ve karbondioksitten

20 kat daha etkilidir. İn vitro et, sığır çiftlikleri tarafından salınan atık nitrat seviyesini de azaltacaktır. Hızla büyüyen küresel nüfusla, in vitro et, gelecekteki insanlar için güvenli, besleyici ve uygun fiyatlı et sunacaktır. Yiyecek kıtlıklarını gıda kaynaklı hastalıkları ve kirliliği azaltacak, gıda üretimini ise artıracaktır [39]

İN VITRO ETİN DEZAVANTAJLARI VE ÜRETİMİNDEKİ ZORLUKLAR

Teknik konuların yanı sıra, tüketici kabulü, ulusal gıda güvenlik düzenlemeleri ve uluslararası uyum gibi sosyal ve etik konular, bu yeni gıda maddesi için aşılması gereken zorluklardandır. Fetal sığır serumu ile ilgili sorunlar, bileşiminin iyi tanımlanmamış olması ve kalitenin tutarsız olabilmesidir. Specht ve Lagally [40], 2017 yılında yaptıkları çalışmada; büyük miktarlarda yüksek kaliteli serum elde etmenin çok zor olabildiğini ifade etmektedirler. Serumsuz ortamın avantajı, yalnızca kendi özel sistemine istenilen büyüme faktörlerinin yerleştirilebilmesidir [41]. Birçok hücre türü için, rekombinant büyüme faktörleri içeren serumsuz kültür ortamı halihazırda geliştirilmiştir. Bununla birlikte, hücreler, büyüme için alışılmadık derecede yüksek konsantrasyonlarda serum gerektirir; bu nedenle serum kadar işe yarayan, hayvansal olmayan bir ikame bulmak zor olmuştur. Bu noktada serumsuz ortam, fetal sığır serumu içeren besiyerinden daha maliyetlidir ve bu da in vitro et üretimini ölçeklendirme/maliyet hesaplama çalışmalarını yanlış yönde etkileyebilir. Gelecekte, serum azaltılacağından ve rekombinant büyüme faktörleri toplu olarak üretileceğinden, serumsuz ortam daha ucuz bir alternatif haline gelebilir [18]. Pazara in vitro et getirmenin en büyük zorluklarından biri laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe geçmektir. İn vitro et fabrikalarında bira fermantasyon tanklarına benzer şekilde et üretmek için yüksek ölçeklerde reaktörler kullanılması öngörülmektedir. Weele ve Tramper [42] 20000 L'lik biyoreaktördeki çalışmalarında, tüm adımlar (temizleme, doldurma, sterilizasyon, hücre çoğalması ve farklılaşma vb.) için yaklaşık 1 ay gerektiğini belirtmişlerdir. Buna göre yılda on çalışma, tek bir biyoreaktör tankından yaklaşık 2560 kişinin et talebini (kişi başına yılda 10 kg) karşılayabilir. Datar ve Luining [37] ise Post ve arkadaşlarının [49] 2013 yılında elde ettiği hamburger köftesinin maliyetinin, etin laboratuvar ölçeğinde üretiminden dolayı çok yüksek olduğunun altını çizmiştir. Teknolojik gelişmelerle, in vitro et nihayetinde geleneksel etle fiyat paralelliğine ulaşabilir. İn vitro etin ilk olarak, geleneksel et ve kültürlenmiş et karışımı olarak; daha sonra nugget, hamburger köftesi ve kıyma ürünleri şeklinde ve üçüncü olarak, biftek ve tavuk göğsü gibi yapılandırılmış etler olmak üzere aşamalı olarak piyasaya çıkacağı öngörülmektedir [40]. Önümüzdeki on yıl içerisinde in vitro etin restoran menülerinde, marketlerde yer alacağı tahmin edilmektedir. Ancak her ne kadar olumlu yönleri olsa da in vitro etin tüketiciler tarafından kabul görmemesi, doğal kabul edilmemesi ve bundan doğan sağlık endişesi, bazı etik kaygılardan dolayı ticarileşemeyeceğine dair görüşler de mevcuttur [46, 47]. Muslu [48] çalışmasında geleneksel yöntemle tükettiğimiz et ile kıyaslandığında in vitro etin hayvansal kaynaklı riskleri içermeyeceğinin öngörüldüğünü ancak laboratuvar koşullarında üretilen et için farklı risklerin doğabileceğine dikkat çekmiştir. Bunlardan bazıları üretim için net bir protokolün olmamasının

getireceği karışıklıklar, kullanılan kimyasallar ile ortaya çıkabilecek herhangi bir sorunun sağlık üzerinde taşıdığı risklerdir.

Besin Değeri

Doğal et kas, yağ, bağ dokusu ve kemikler dahil olmak üzere birçok dokudan oluşur. Et zengin bir protein, amino asit, yağ asidi, mineraller ve Zn, Se, K, Na, Mg, kreatin, karnozin ve A, B-kompleksi ve D gibi vitaminler için özel bir kaynaktır. Ayrıca B₁₂ vitamini ve demir gibi temel besinler ve biyoaktif bileşiklerin de kaynağıdır [33]. Etin ortalama protein miktarı yaklaşık %22'dir. Bu değer ördek etinde %12.3'ten ve tavuk göğsünde %34.5'e kadar değişiklik gösterebilir ve benzer şekilde etin amino asit içeriği de hayvandan hayvana farklılık gösterebilir. Ayrıca etin amino asit ve protein içeriği yağ, bağ dokusunun fazlalığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [43]. Etin yağ asidi bileşimine bakacak olursak, oleik asit, linoleik asit, linolenik asit ve araşidonik asit gibi doymamış yağ asitlerini içerdiğini görürüz [43]. Çoklu doymamış yağ asitlerinden olan omega-3 yağ asidi, etin toplam yağ içeriğindeki yararlı ve önemli bir bileşendir [37]. Bahsi geçen besin içerikleri nedeniyle, geleneksel etin besleyici değeriyle eşleşebilecek in vitro et üretmek çok önemli ve zorlayıcıdır. İn vitro ete besin değerini kazandırmak için çeşitli parametreler ve kültür koşulları önerilmiştir. Miyotüplerin farklılaşması ve proliferasyonu sırasında gerekli kültür koşulunun formülasyonu ve uygun büyüme faktörlerinin ve moleküllerin takviyesi, in vitro ete besin değeri kazandırmak için anahtar faktörlerdir. Yağlar sadece etin besin değerini artırmakla kalmaz, aynı zamanda lezzet, aroma ve doku kazandırır. İn vitro et için, doymuş yağ içeriği, miyotüplerin adipositlerle birlikte kültürlenmesiyle elde edilebilir [44]. İn vitro etin protein içeriğine, büyük ölçüde miyotüplerin çoğalması ve kültürü için kullanılan yapı iskelesi katkıda bulunur [43]. Etin karakteristik besin içeriği olan Fe ve B₁₂ vitamininin in vitro ete kazandırılması için, mikrobiyal fermantasyonla üretilen transferrin proteinine bağlı Fe⁺³ iyonu ve B₁₂ vitamini takviyesi önerilmektedir [37]. Ek olarak, transferrine bağlı Fe⁺³ kompleksi, plazma proteininin mitokondriye girmesi ve hem sentezine hem de ardından miyogloblin sentezine dahil olmasıyla, in vitro ete karakteristik renk sağlar. Bununla birlikte, transferrin seviyesi kültür ortamında optimum seviyede olmalıdır; çünkü daha yüksek bir transferrin seviyesi, aerobik koşullar altında reaktif oksijen türlerinin üretimini katalize eder ve büyüyen miyotüplere zarar verebilir [32]. Yapılan bir çalışmada, hücrelerin ortam oksijen koşullarında kültürlenmesi, kırmızı rengi ete veren miyogloblin ekspresyonunu baskılar. Bu nedenle üretilen in vitro et renksiz olmuştur ve daha çok tavuk etine benzemiştir. Böylece eti renklendirmek için biraz kırmızı pancar suyu ve safran eklenmiştir [22, 45].

Sonuç

Başta uzak bir ihtimal olarak görülse de teknolojinin hızla ilerlemesi ve motive edici sebepler sayesinde kısa zamanda in vitro etin tabağımızda yer alacağını öngörmekteyiz. Konuyla ilgili çoğu çalışmanın derleme olduğu görülmektedir. Ancak büyük şirketlerin de yatırımları sayesinde bu teorik düşünceler gelecekte yerini gerçekliğe bırakacaktır. Birçok açıdan değerlendirildiğinde in vitro etin, geçimini

hayvan üretimi ile sağlayan ülkelere ve kişilere etkisinin nasıl olacağı endişe konusudur. Ancak insanlığa ve hayvanlara sağlayacağı potansiyel tüm bu faydalar ağır basmaktadır.

Teşekkür -

Fon/Finansman Bilgileri Herhangi bir kurum ve/veya kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Etik Kurul Onayı ve İzinler Çalışma, etik kurul izni ve herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Çıkar Çatışmaları/Çatışan Çıkarlar Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazarların Katkısı Tüm yazarlar, bu çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

[1] Taşkın, A. (2019). *Geleceğin alternatif gıda kaynakları ve gıda teknolojileri*. (Tez no. 575180) [Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi].

[2] Lynch, J. & Pierrehumbert, R. (2019). Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3(5). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00005>

[3] Mengistie, D. (2020). Lab-growing meat production from stem cell. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 3(1), 015.

[4] Choi, K. H., Yoon, J. W., Kim, M., Lee, H. J., Jeong, J., Ryu, M., & 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. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12661>

[5] 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. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.02.021>

[6] Bekker, G. A., Fischer, A. R., Tobi, H., & van Trijp, H.C. (2017). Explicit and implicit attitude toward an emerging food technology: The case of cultured meat. *Appetite*, 108, 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.10.002>

[7] Hart Research Associates, (2021, April). *Perceptions of cellular agriculture: Key findings from qualitative research*. Hart Research Associates. <https://medium.com/new-harvest/perceptions-of-cellular-agriculture-key-findings-from-qualitative-research-24145eced707>

[8] The Grocer, (2021, April). *Meat the future and how to market it*, <http://www.thegrocer.co.uk/buying-and-supplying/categories/meat/meat-the-future-and-how-to-market-it/546754.article>

[9] Smith, A. (2021, December). *U.S. Views of technology and the future: Science in the next 50 years*. Pew Research. <https://www.pewresearch.org/internet/2014/04/17/us-views-of-technology-and-the-future>

[10] The Washington Post, (2021, January). *Lab-grown meat is in your future, and it may be healthier than the real stuff*. https://www.washingtonpost.com/national/health-science/lab-grown-meat-is-in-your-future-and-it-may-be-healthier-than-the-real-stuff/2016/05/02/aa893f34-e630-11e5-a6f3-21ccdbc5f74e_story.html?utm_term=.339bff30314d

[11] The Good Food Institute, (2021, January). *Clean meat: The naming of tissue-engineered meat*. <http://mfait.gfi.org/the-naming-of-clean-meat>

- [12] Animal Charity Evaluators, (2021, January). "Clean" meat or "cultured" meat: A randomized trial evaluating the impact on self-reported purchasing preferences. <https://animalcharityevaluators.org/blog/clean-meat-or-cultured-meat-a-randomized-trial-evaluating-the-impact-on-self-reported-purchasing-preferences/>
- [13] Verbeke, W., Marcu, A., Rutsaert, P., Gaspar, R., Seibt, B., Fletcher, D., & Barnett, J. (2015). 'Would you eat cultured meat?': Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat science*, 102, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.013>
- [14] Hocquette, J. F. (2016). Is in vitro meat the solution for the future? *Meat science*, 120, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.036>
- [15] Marcu, A., Gaspar, R., Rutsaert, P., Seibt, B., Fletcher, D., Verbeke, W., & Barnett, J. (2015). Analogies, metaphors, and wondering about the future: Lay sense-making around synthetic meat. *Public Understanding of Science*, 24(5), 547-562. <https://doi.org/10.1177/0963662514521106>
- [16] Heid, M. (2021, December). *You asked: Should I be nervous about lab-grown meat*. *Time Magazine*, 14. <https://www.yahoo.com/lifestyle/asked-nervous-lab-grown-meat-120000235.html>
- [17] Ghosh, P. (2021 December). *World's first lab-grown burger is eaten in London*. *BBC News* www.bbc.com/news/scienceenvironment-23576143
- [18] Post, M. J., Levenberg, S., Kaplan, D. L., Genovese, N., Fu, J., Bryant, C. J., & Moutsatsou, P. (2020). Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, 1(7), 403-415. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0112-z>
- [19] Edelman, P. D., McFarland, D. C., Mironov, V. A., & Matheny, J. G. (2005). Commentary: In vitro-cultured meat production. *Tissue engineering*, 11(5-6), 659-662. <https://doi.org/10.1089/ten.2005.11.659>
- [20] Webb, S. (2006). Tissue engineers cook up plan for lab-grown meat. *Discover*. 27(1):43. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>
- [21] Bhat, Z. F., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2017). In vitro meat: A future animal-free harvest. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(4), 782-789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.924899>
- [22] Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., Bekhit, A. E. D. A., & Bhat, H. F. (2019). Technological, regulatory, and ethical aspects of in vitro meat: a future slaughter-free harvest. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(4), 1192-1208. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12473>
- [23] Kosnik, P. G., Dennis, R. G., & Vandenberg, H. (2003). Tissue engineering skeletal muscle. In F. Guilak, D. L. Butler, S. A. Goldstein, & D. Mooney (Eds.), *Functional tissue engineering*. 377-392. https://doi.org/10.1007/0-387-21547-6_28
- [24] 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. <https://doi.org/10.1007/s10806-008-9110-0>
- [25] Dennis, R., Kosnik, P., Gilbert, M., & Faulkner, J. (2001). Excitability and contractility of skeletal muscle engineered from primary cultures and cell lines. *American Journal Physical Cell Physics*, 28, 288-95. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.2001.280.2.C288>
- [26] 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. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00033-4)

- [27] Wolfson, W. (2021, December). Raising the steaks. *New Scientist*. <https://repository.library.georgetown.edu/handle/10822/1005566>
- [28] Zandonella, C. (2003). Tissue engineering: The beat goes on. *Nature*, 421(6926):884–6 <https://doi.org/10.1038/421884a>
- [29] Mironov, V., Boland, T., Trusk, T., Forgacs, G. & Markwald, R. (2003). Organ printing: Computer-aided jet-based 3D tissue engineering. *Trends Biotechnol.* 21(4):157–61. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(03\)00033-7](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(03)00033-7)
- [30] Aldhous, P. (2021, May). Print me a heart and a set of arteries. *New Scientist*. <http://organprint.missouri.edu/news/NewScientistApril2006.pdf>
- [31] Gillispie, G. J., Park, J., Copus, J. S., Pallickaveedu, A. K., Asari, R., Yoo, J. J., & Lee, S. J. (2019). Three-dimensional tissue and organ printing in regenerative medicine. In A. Atala, R. Lanza, A. G. Mikos, & R. Nerem (Eds.), *Principles of regenerative medicine* (3rd ed., Chapter 47, pp. 831–852) <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809880-6.00047-3>
- [32] Singh, A., Verma, V., Kumar, M., Kumar, A., Sarma, D. K., Singh, B., & Jha, R. (2020). Stem cells-derived in vitro meat: from petri dish to dinner plate. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 9, 1-14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1856036>
- [33] Young, J. F., Therkildsen, M., Ekstrand, B., Che, B. N., Larsen, M. K., Oksbjerg, N., & Stagsted, J. (2013). Novel aspects of health promoting compounds in meat. *Meat Science*, 95(4), 904-911. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.036>
- [34] Van Eelen, W. F. (2007). Industrial scale production of meat using cell culture methods (U.S. Patent No. 7, 270, 829). *Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office*. <https://patentimages.storage.googleapis.com/00/69/34/1a632a16cfa069/US7270829B2.pdf>
- [35] Madrigal, A. (2021, December). *Scientists flesh out plans to grow (and sell) test tube meat*. *Wired*. <https://www.wired.com/2008/04/scientists-flesh-out-plans-to-grow-and-sell-test-tube-meat/>
- [36] Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., & Rounsevell, M. D. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 15, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001>
- [37] Datar, I., & Luining, D. (2021, December). *Mark Post's Cultured Beef. New-harvest*. <http://tnyurl.com/NH-cultured-meat>
- [38] Schneider, Z. (2021, December). *In vitro meat: Space travel, cannibalism, and federal regulation*. <https://houstonlawreview.org/article/4067-in-vitro-meat-space-travel-cannibalism-and-federal-regulation>
- [39] Ford, B. J. (2021, April). *Critical Focus-Cultured Meat: Food for the Future*. https://www.academia.edu/1477376/Cultured_meat_food_for_the_future?pop_sutd=false
- [40] Specht, L., & Lagally, C. (2021, February). *Mapping emerging industries: opportunitites in clean meat*. <https://gfi.org/wp-content/uploads/2021/02/Mapping-Emerging-Industries.pdf>
- [41] Cassidy, L. (2021, January). *Clean meat*. *Inform*, https://www.researchgate.net/profile/LauraCassiday2/publication/322866848_Clean_meat/links/5a8e14880f7e9b2fac829ec0/Clean-meat.pdf
- [42] Weele, C.v.d., & Tramper, J. (2014). Cultured meat: every village its own factory? *Trends Biotechnolgy*, 32(6), 294– 296. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.04.009>

- [43] Ahmad, R. S., Imran, A., & Hussain, M. B. (2018). Nutritional Composition of Meat. *In Meat Science and Nutrition*, Muhammad Sajid Arshad, IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.77045>
- [44] Watson E, (2021, December). *FDA Approves Color Additive Petition for Impossible Foods' Soy Leghemoglobin as it Gears Up for Sept Retail Launch*. <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2019/07/31/FDA-gives-green-light-to-color-additive-petition-for-Impossible-Foods-soy-leghemoglobin>
- [45] Zaraska, M. (2021, December). *Lab-grown beef taste test: 'Almost' like a burger*. https://www.washingtonpost.com/national/health-science/lab-grown-beef-taste-test-almost-like-a-burger/2013/08/05/921a5996-fdf4-11e2-96a8-d3b921c0924a_story.html
- [46] Sürek, E., & Uzun, P. (2020). Geleceğin alternatif protein kaynağı: yapay et. *Akademik Gıda*, 18(2), 209-216. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.758840>
- [47] Candoğan, K., & Özdemir, G. (2021). Sürdürülebilir et üretimi için yenilikçi yaklaşımlar. *Gıda*, 46(2), 408-427. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20137>
- [48] Muslu, M. (2021, April 8-10). *Yapay et (sentetik et-kültür eti), küresel protein gereksinimi için alternatif bir kaynak olabilir mi?* [Konferans sunumu]. 4th International Health Sciences and Life Congress, Burdur, Türkiye. <https://ihslc.mehmetakif.edu.tr/files/ozet-kitabi-2021-20-05.pdf>
- [49] Post, M. J., Rahimi, N., & Caolo, V. (2013). Update on vascularization in tissue engineering. *Regenerative Medicine*, 8(6), 759-770. <https://doi.org/10.2217/rme.13.74>