



Geleneksel et üretimi ve tüketimine alternatif: Et analogları

Alternative to traditional meat production and consumption: Meat analogues

İbrahim Ender Künili¹ , Selin Özge Dinç^{2,*} , Fatma Çolakoğlu³ 

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Türkiye
^{2,3} Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Öz

Son yıllarda popülaritesi artan ve yeni ürün grupları arasında yer alan et analogları, çoğunlukla bitkisel proteinlerin hammadde olarak kullanıldığı ve son ürüne eti andıran formun kazandırılmasına dayalı ürünlerdir. Et analogları üretiminde baklagillerden yağlı tohumlara, buğdaydan alglere kadar birçok bitkisel kaynak hammadde olarak kullanılabilen, hammadde özelliklerine göre aroma arttırıcı ve renk verici gibi katkı ilavesi yapılarak ürüne istenilen özellikler kazandırılmaktadır. Nihai ürün formunda et benzeri özellikler elde etmek için tüm hammaddeler ve katkı maddeleri geleneksel ve/veya modern işleme teknikleri ile işlenir. Bu işleme teknikleri arasında ekstrüzyon, yaygın olarak kullanılan ve kabul edilen bir yöntem olarak bilinmektedir. Et analoglarının hayvansal ürünlere ikame olarak tüketici tarafındaki kabul edilebilirliği, hammadde ve katkı ile kullanılan üretim tekniğinin ürüne kazandırdığı kalite özelliklerine göre şekillenmektedir. Yakın gelecekte et analoglarının tüketim alışkanlıklarında yaygın yer bulacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, üretime katılan bileşenler üzerine araştırmaların artması, üretim teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması ve geliştirilmesi ile üretime yönelik yasal düzenlemelerin yapılması kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada yeni bir gıda olarak et analogu ve kavramı, üretimin başlangıcından tüketici kabulüne kadar geniş bir perspektiften ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Bitkisel protein kaynakları, Et analogları, Et ikameleri, Üretim teknikleri, Tüketici algısı

1 Giriş

Hayvansal kaynaklara ikame ürünler, son yıllarda değişen yaşam şartları ve tüketici beklentileri doğrultusunda, diyetlerde daha çok yer almaya başlamıştır. Bu durumun başlıca nedenleri arasında doyuma ulaşmış tüketici gruplarının yeni ürün beklentileri ve vegan/vejetaryen beslenme tarzını benimsemiş tüketicilere yönelik ürün geliştirme çalışmaları yer almaktadır [1]. Bunun yanı sıra, artık hayatımızda var olan iklim değişiklikleri, hayvansal kaynaklı ürünlere karşı duyulan güvenlik endişeleri, sağlıklı beslenme eğilimleri ve artan nüfusla beraber artan protein ihtiyacına yönelik planlanan eylemler de alternatif kaynak arayışına hız kazandırmaktadır [2-7].

Abstract

Meat analogues are among the new trending product groups in recent years that are produced mainly with vegetable proteins as raw material and are based on giving the final product a form resembling meat. In the production of meat analogues, many vegetable sources from legumes to oilseeds, wheat to algae can be used as raw materials, and the desired properties are brought into the last product by adding additives, such as flavor enhancers and colorants according to the raw material. To obtain meat-like properties in the final product form, all raw materials and additives are processed with traditional and/or modern processing techniques. Among these processing techniques, extrusion is known as a widely used and accepted method. The acceptability of meat analogues as a substitute for animal products on the consumer side is shaped by the quality characteristics of the raw materials and additives as well as the method used in the production phase. It is predicted that meat analogues will have a widespread place in the consumption habits of consumers in the near future. For this reason, it will be inevitable to increase research on the components involved in the production, as well as expand and develop the use of production technologies, and make legal regulations for production. In this study, meat analogue as a novel food and its concept, from the beginning of production to consumer acceptance and their approaches were discussed from a wide perspective.

Keywords: Vegetable protein sources, Meat analogues, Meat substitutes, Production techniques, Consumer perception

Hayvansal ürünlere ikame olarak kullanılacak en önemli kaynak, bitkisel ürünlerdir. Bitkisel kaynaklar günümüzde farklı formları ile talep gören ürünlere dönüşmekte, et analogları veya et ikameleri olarak da bilinen şekliyle tüketim alışkanlıklarında yer almaya başlamaktadır. Et analogları; bitkisel kaynakların hammadde olarak kullanılabilirdiği, yardımcı katkı maddelerinin ilavesi ve farklı işleme yöntemleriyle işlenebilen et benzeri proteinli ürünlerdir [8]. Üretim sırasında baklagiller, yağlı tohumlar, buğday, mantarlar ve algler gibi birçok bitkisel hammadde ile birlikte farklı amaçlar ile yardımcı katkıları kullanılabilir. Üretim tekniği olarak ise hücre kültürü yöntemi, eğirme tekniği, ekstrüzyon, shear cell ve couette

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: selinozge.dinc@comu.edu.tr (S. Dinç)

Geliş / Received: 09.08.2022 Kabul / Accepted: 29.11.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1159590

hücre tekniği, dondurarak yapılandırma tekniği, 3D gıda yazıcısı, fermantasyon, hidrokolloidler ve bitki protein kombinasyonları kullanılabilir, son ürüne et benzeri duyu ve tekstürel özellikler verilerek et ikamesi ürün geliştirilebilmektedir [9]. Bu şekilde ortaya çıkan et analogları tüketici tarafında, kültürel yapıya bağlı olarak farklı düzeylerde kabul görebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda tüketici beğeni testlerinde, kabul ve beğeni oranlarının ürün özellikleri ve kültürel algıdan büyük ölçüde etkilendiği ortaya çıkmıştır [11]. Özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika'da et analogları tüketiminin vejeteryen tüketicilerin ötesine geçerek et seven tüketicileri de içine alacak şekilde genişlediği bildirilmektedir [10]. İster beslenme tarzı, isterse iklim değişikliğine bağlı artan kaygılar sonucu olsun, günümüz ve gelecekte bu ürünlerin sofralarda daha çok yer alacağı aşîkârdır. Dolayısıyla et analogları konusunda, hammadde ve yardımcı madde seçimi, üretim yöntemleri, standardizasyon çalışmaları, tüketici algısına yönelik çalışmalar ile piyasa araştırmalarının yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada ise, et analogları üretiminde kullanılan alternatif bitkisel kaynaklar ve özellikleri, yardımcı maddeler, üretim teknolojileri ve tüketicilerin et analoglarına yaklaşımları derlenmiştir.

2 Et analogları üretimi için alternatif protein kaynakları

Alternatif protein kaynağı arayışında, çevre dostu, sürdürülebilir, ön işleme tekniklerine minimum ihtiyaç duyan, protein içeriği açısından kaliteli ve et analogu olarak tüketim zevki veren hammaddeler ön plana çıkmaktadır. Bu arayış içerisinde ise hammadde seçiminde dikkat edilen en önemli özelliğin hammaddenin, protein ve aminoasit içeriği açısından hayvansal kaynaklar ile kıyaslanabilir durumda olmasıdır (Tablo 1). Gerek protein içeriği, gerek diğer özellikler yönünden bakıldığında günümüzde et analogları üretim çalışmalarında kullanılan bitki türleri arasında buğday, pirinç, mısır, kanola, ayçiçeği, kolza tohumu, soya fasulyesi, lima fasulyesi, lupin, bezelye, nohut, yer fıstığı, kenevir, pamuk tohumu, mantarlar [8] ile özellikle yüksek ham protein oranlarıyla makro ve mikro algerin yer aldığı görülmektedir [11-13]. Ayrıca ticari olarak birçok bitkisel proteinin un, konsantre ve izolat formlarının üretildiği ve et analogu hammaddesi olarak kullanımlarının bulunduğu bildirilmektedir [9].

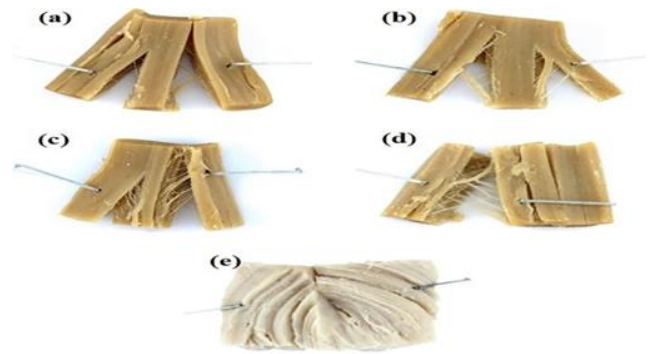
2.1 Soya

Soya içeriğindeki protein oranı, çeşidi ve karbonhidrat gibi diğer bileşenlerin miktarı açısından et analogları üretiminde yaygın kullanılmakta, bu bileşenler soya proteinlerinin en önemli seçilme nedeni olan fonksiyonel özelliklerini (jelleşme ve su tutma kapasitesi) etkilemektedir [14-18]. Soya proteini konsantrelerinin et analoguna işlenmesi sonucu elde edilen ürün; liflilik, sertlik derecesi, çignenebilirlik ve ağızda bıraktığı his itibari ile tavukgöğsünün yapısına benzer olarak ifade edilmiştir [19]. Abdullah vd. [20] tarafından yürütülen bir çalışmada soyadan elde edilen kıyma, burger eti, biftek, sucuk ve salam ürünleri geleneksel et ürünleri ile duyu açıdan kıyaslanmış ve soya et analoglarının duyu açıdan geleneksel ete benzer özellik gösterdiği bildirilmiştir. Ancak

soya protein ekstraktı, et analogları üretiminde ideal hammadde olarak yaygın kullanılsa da, alerjen potansiyeli taşıdığından popülerliğini yitirmektedir [8, 21].

2.2 Buğday gluteni

Buğday gluteni, protein ekstraksiyonunun kolay yapılabilir olması ve et analogları üretiminde önemli olan bağlayıcılık ve köpük oluşturma gibi fonksiyonel özellikleri ve son ürünlere fibriler yapı kazandırabilmesi ile ön plana çıkmaktadır (Şekil 1) [22-25]. Soya protein ürünlerinde, %30 oranında buğday gluteninin de yer alması, elde edilen ürünlere daha iyi tekstür, sertlik ve çignenebilirlik sağladığı ifade edilmektedir [19]. Ancak buğday gluteninin kullanımındaki en önemli sorun gluten alerjisi veya intoleransının toplum sağlığı açısından yarattığı endişedir [26].



Şekil 1. Farklı buğday gluten oranlarına sahip soya proteini konsantresi et analogları (a) %0 Buğday gluteni, (b) %10 Buğday gluteni, (c) %20 Buğday gluteni, (d) %30 Buğday gluteni ve (e) haşlanmış tavukgöğsü [19].

2.3 Yer fıstığı

Et analogları üretimi için kullanılan ve potansiyeli oldukça yüksek olan diğer bitkisel protein kaynaklarının başında ise yer fıstığı gelmektedir. Yer fıstığı unlarının protein içeriği yaklaşık %52, konsantrelerinin %78 ve izolatlarının protein içeriği ise %90'lara ulaşmaktadır [27]. Protein içeriğinin yanı sıra, soya protein ekstraktlarına eşdeğer emülsifiye, köpürme ve jelleşme özellikleri bulunması ve yüksek nem ekstrüzyonu ile işlenmesinin ardından ete benzer fibriler dokuların elde edilmesi, yer fıstığını et analoglarının üretiminde potansiyeli yüksek hammadde kaynağı yapmaktadır [28-30]. Rehrah vd. [28], yer fıstığı bazlı kıyma ürününe ait üç formülasyonu, bir ürün uygulamasında ticari bir soya bazlı kıyma ürününe karşı değerlendirmiştir. Araştırmacılar, yer fıstığı bazlı üç farklı formülasyondan elde edilen ürünlerin, ek aroma verici ve baharat ilavesi ile geliştirilmesinin ardından, ürün tatlarının tüketici tarafından daha kabul edilebilir olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak yer fıstığı soya ve buğday gluteni gibi gıda alerjisi olarak bilinmekte ve bu bileşenlerden herhangi birinin kullanımının, tüketiciye bağlı olarak et analoglarının kabul edilebilirliğini azaltabileceği bildirilmektedir [31].

2.4 Baklagiller

Bezelye, mercimek, bakla, nohut ve maş fasulyesi gibi ürünler et analogları üretimlerinde denenmiş, fasulye protein

ekstraktlarının et analogları üretiminde hem besleyicilik hem de fonksiyonel özellikler bakımından en çok tercih edilebilecek potansiyele sahip kaynaklar arasında sayılabileceği ifade edilmiştir [32-33]. Bununla birlikte, protein oranı arzu edilen seviyelerde olan fasulyenin ana protein kaynağı olarak kullanıldığı et analogu üretiminde son ürünün tekstürel yapısı arzu edilen seviyelere ulaşamamakta, genellikle, kıvam arttırıcı, jelleştirici, stabilize edici ve emülsiyon oluşturuca özelliklere sahip gıda hidrokolloidlerinin üretim sırasında ilavesine ihtiyaç duyulduğu bildirilmektedir [8, 34]. Bitkisel protein içeren hamburger geliştirmeyi amaçlayan bir çalışmada, mısır ve acı bakla bazlı bir karışım tasarlanarak, elde edilen ürün protein içeriği, kalitesi ve duyuşsal özellikleri değerlendirilmiştir. Ürünlerin geneli kesilmesi zor, sert, kuru, koyu kahverengi, homojen olmayan renk dağılımı gibi duyuşsal sonuçlar verirken, %50 kinoa ve %50 acı bakla içeren ürün duyuşsal değerlendirme ve protein sindirilebilirliği açısından en kabul edilebilir ürün olarak nitelendirilmiştir [35].

2.5 Tohumlar

Bitkisel tohumlar ve kanola, ayçiçeği gibi bitkiler özellikle yağ üretimi açısından önemli hammaddelerdir [36]. Bu yüzden, protein içeriği bakımından zengin olan posaların protein ekstraktı olarak kullanılması ve verimliliği birçok araştırmaya konu olmuştur [37-39]. Bu kaynaklar, sürdürülebilirlik ve kombine üretim ile atık değerlendirme esaslı kaynaklar olarak avantaja sahiptirler. Ayçiçeğinden ekstrakte edilen proteinlerin izolatlarının protein konsantrasyonları yaklaşık %95, unun protein içeriği yaklaşık %65 ve lifli konsantrasyonları ise yaklaşık %45 seviyelerine ulaşmaktadır [43]. Ayrıca bu proteinlerin, soya proteine benzer derecede su tutma, emülsifiye özelliği ve köpürme/hacim verme gibi fonksiyonel özelliklere sahip olduğu, sıcaklığa bağlı olarak iyi derecede jelleşme özelliği de gösterdiği ifade edilmektedir [44-46].

Ayçiçeğine benzer olarak, keten, kanola ve kenevir gibi diğer tohumlu bitkilerin protein izolatlarının da protein içeriği, temel ayrıştırma işlemlerinden sonra yaklaşık %90 seviyelerine ulaşmaktadır [47]. Bununla birlikte, modifiye edici katkıları ve polisakkarit karışımları takviyeleri ile artan jelleşme özellikleri, iyi derecedeki emülsifiye ve köpürme özellikleri ile şarküteri benzeri et analoglarının üretimi için uygun protein kaynakları olarak gösterilmektedir [48-51]. Farklı konsantre bitki proteinlerinin (soya, bezelye, bakla, pirinç ve ayçiçeği) et emülsiyonu model sistemlerinde et yerine etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, pirinç ve bakla proteinlerinin aksine soya, bezelye ve ayçiçeği proteinlerinin, yüksek emülsiyon stabilitesi ve iyi yağ dağılımına sahip kohezif bir protein ağı sağladığı bildirilmektedir [52].

2.6 Mısır

Mısır protein ekstraktlarından prolamin sınıfında yer alan zein, en çok bilinen proteinlerden olup, gıda endüstrisinde çok iyi fonksiyonel özelliklere sahip olması nedeniyle hali hazırda kullanılmaktadır [53-56]. Mısırın hammadde olarak kullanıldığı et analogları üretimi çalışmalarında ise ekstraktın ek işlemler uygulandığında kırmızı ve tavuk etlerinin fibriller dokusunun yansıtılabileceği ve tekstürel olarak ürünlerin kalitesinin artırılabilirliği belirtilmiştir [57-58]. Mısırın prolamin proteini olan zeinden lifli et analogu tipi ürünler üretmek amacıyla farklı üretim yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmada, zeinin tavuk etine benzer bir doku geliştirebildiği, ekonomik ve işlevsel fizibilite açısından lifli et analoglarının yapılandırılmasında büyük potansiyel sergilediği bildirilmiştir [58]. Ancak zein liflerinin su tutma kapasitesini iyileştirme yollarının belirlenmesine ek olarak, soya yokluğunda zein liflerinin fiziksel ve reolojik özelliklerinin daha fazla karakterize edilmesi gerektiği de vurgulanmıştır [58].

Tablo 1 Önemli protein kaynaklarının protein ve esansiyel amino asit içerikleri [8, 40-42]

	Yumurta	Biftek	Balık	Soya		Buğday	Bezelye	Lupin	Mısır	Ayçiçeği Çekirdeği	Fıstık	
			Sazan	İzolat	Konsantre	Un	Un				Un (Az Yağlı)	
Protein içeriği %	12.4	21.91	17.8	83.3	63.63	37	9.61	23.12	36.17	9.42	20.78	33.8
mg/g üründeki esansiyel amino asit içeriği												
Histidin	2.83	6.99	5.25	23.03	15.78	12.68	14	5.86	10.3	2.87	6.32	8.54
İsolösin	6.16	9.97	8.22	42.53	29.42	22.81	20	9.83	16.15	3.37	11.39	11.88
Lösin	10.5	17.43	14.5	67.83	49.17	38.28	50	16.8	27.43	11.6	16.59	21.91
Lizin	8.32	18.52	16.4	53.27	39.29	31.29	11	17.71	19.33	2.65	9.37	12.13
Metiyonin	4.18	5.71	5.28	11.3	8.14	6.34	7	1.95	2.55	1.97	4.94	4.15
Fenilalanin	6.6	8.65	6.96	45.93	32.78	24.53	37	11.51	14.35	4.63	11.69	17.52
Triptofan	1.66	1.44	2	11.16	8.35	6.83	-	1.59	2.89	0.67	3.48	3.28
Treonin	5.94	8.75	7.82	31.37	24.74	20.42	18	8.13	13.31	3.54	9.28	11.58
Valin	7.34	10.87	9.19	40.98	30.64	23.46	23	10.35	15.1	4.77	13.15	14.18

2.7 Mantarlar

Mantarlar, lezzet, düşük doymuş yağ içeriği, yüksek lif ve protein içeriği ile yüzyıllardır birçok kültürde sevilerek tüketilmektedir [59]. İçeriğinde yer alan yüksek protein ve diğer besleyici bileşenler ile et analogları üretiminde kullanım için de önemli bir potansiyel kaynaktır. Mantarların et analogu üretiminde kullanımı üzerine yapılan araştırmalarda *Lentinus edodes*, *Coprinus comatus*, *Pleurotus ostreatus* ve *Colocybe indica* gibi birçok yenilebilir mantar türü denenmiştir [60-61]. Yapılan çalışmalarda mantarın fiziksel yapısı gereği ve etsi aroma özellikleri nedeniyle ete benzer ürün üretiminde ideal bir kaynak olduğu bildirilmektedir [59, 61-62]. İstiridy mantarı (*Pleurotus ostreatus*) ilavesinin ekstrüzyon işlemi ile tam yağlı soya ve izole soya proteini bazlı analog burger köftelerinin kalite özelliklerine etkileri karşılaştırıldığı bir çalışmada istiridy mantarının analog burger köftelerine eklenmesinin genel kaliteyi iyileştirdiği ve analog burger köftesi için potansiyel soya alternatifi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir [63].

2.8 Algler

Karasal bitki kaynaklarının yanında, algler de denizel alternatif protein kaynaklarıdır. Algler geleneksel olarak, başta Uzakdoğu ülkeleri olmak üzere birçok ülkenin tüketim alışkanlıklarında önemli bir yere sahiptir [64]. Makro algler arasında yer alan, *Porphyra* spp., *Pyropia* spp. *Palmaria palmata*, *Ulva* spp., gibi kırmızı ve yeşil alglerin ve mikro alglerin kuru ağırlık yüzdesi bakımından incelendiğinde protein oranının çoğu protein kaynağına göre yüksek olduğu görülmektedir [65-68]. Örneğin, Spirulina olarak bilinen *Arthrospira platensis* ve ticari birçok varyasyonu olan yeşil mikroalg *Chlorella* kuru ağırlıkta %70 lere varan protein içeriğine sahip olup, insan beslenmesi için gerekli olan ve vücutta sentezlenmesi mümkün olmayan tüm esansiyel amino asitleri de bünyelerinde taşımaktadır [69-71]. Yumurta ile kıyaslanabilir ölçüde iyi kalite protein içeriğine sahip olan bu mikro algler, bu sebeple et analogları üretiminde kullanılabilecek potansiyeli yüksek alternatif protein kaynaklarıdır. Grahl vd. [72] Spirulina ve çeşitli et ikamelerinin uygulamalarını geliştirmek için farklı oranda Spirulina biyokütlesi ve ekstrüzyon parametreleri kullanarak yüksek nem ekstrüzyon yöntemi ile üretilen et analoglarının organoleptik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada et analogu üretiminde bir yenilik olarak, yüksek Spirulina içeriklerinin umut verici olduğu ve tat profili ile potansiyel eşleşen çeşnilerin daha fazla araştırılması gerektiği bildirilmiştir. Diğer taraftan, mikro alglerin gıda endüstrisinde hali hazırda besin kalitesini artırıcı, renk verici, antioksidan ve kıvam artırıcı olarak kullanılması da bu kaynakların cazibesini artırmakta, yeni alternatif mikro alg türlerinin fibriler dokunun elde edilmesi yanı sıra, renk ve kıvam artırılması amacıyla et analoglarında kullanım potansiyelleri de araştırılmaktadır [73-74].

Et analoglarının gelecekte rağbet gören ve güvenli ürünler olarak yer alması için; bitkisel kaynakların hammadde olarak kullanımı üzerine sindirilebilirlik, biyoyararlanım, bazı ön işleme teknikleri uygulanması

gerekliliği ile enerji, zaman, verim ve sürdürülebilirlik açısından daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır [69, 75-79].

3 Et analogları üretiminde kullanılan yardımcı maddeler

Et analoglarının üretimi için en önemli içerik proteindir. Kullanılan hammadde proteinin işlendikten sonraki fonksiyonel özellikleri, et analoglarının üretiminde kullanılacak yardımcı katkı maddelerinin türünü ve miktarını etkilemektedir. Örnek olarak, fibriler dokuya sahip biftek veya tavuk eti gibi lifli kas görüntüsü için protein kaynağının özellikleri ve kullanılan nemin miktarı önemli iken [80-83], kıyma, köfte veya şarküteri ürünlerinde kullanılacak et analoglarının üretiminde bağlayıcı, renklendirici ve jelleşme özelliği kazandırıcı yardımcı katkı maddeleri ile lezzet artırımı için baharat kullanımı ön plana çıkmaktadır [8].

3.1 Yağlar

Yağ, et ve et ürünlerinde aroma, tekstür, sululuk ve çiğneme hissi gibi parametrelere doğrudan etkisi olan majör bir bileşendir [8]. Et analoglarının üretiminde ise yağlar bağlayıcı ajanlar olarak ve son üründe besleyicilik ve biyoyararlanımı artırma amacıyla da kullanılmaktadır [9, 84-85]. Bunların yanında, elastikiyet kazanımı, kesme işlemlerine duyarlılık ile vegan sosis, vegan burger veya vegan köfte gibi emülsifiye ürünlere has karakteristik özelliklerin oluşması ve daha sağlıklı fabrikasyon ürünlerin üretilmesi açısından yağ seçimi oldukça önemlidir [84, 86].

Et analoglarının üretiminde başlıca hindistan cevizi yağı, kakao yağı, soya fasulyesi yağı, mısır yağı, ayçiçek yağı, kanola yağı, susam yağı, avakado yağı, aspir yağı, palm yağı ve yerfıstığı yağı kullanılmaktadır [85, 87]. Bunlardan hindistan cevizi, kakao ve avakado yağı gibi koyu kıvamlı yağlar, et analoglarında gerçek ete benzer tekstür ve çiğneme hissinin geliştirilmesi amaçlarına hizmet etmektedir [85]. Et analoglarının yapısının duyuusal algı ile ilişkilendirildiği bir çalışmanın formülasyonunda yer alan ayçiçek yağının sertlik, gözenekli yapı ve çiğnenebilirlik gibi özellikleri doğrudan etkilediği ve değerlendirmede, bu faktörlerin beğeni üzerinde önemli belirleyiciler olarak belirlendiği bildirilmiştir [88].

Bitkisel yağlar kolestrolsüz olması, doymamış yağ asitleri açısından zengin olması ve çeşitli fonksiyonel özelliklere sahip olması nedeniyle avantaj sağlarken, gerçek etin aroma ve lezzetini artıran hidrokarbon, alkol, aldehit ve sülfürlü bileşikler gibi çözünebilir uçucuların eksikliği nedeniyle son ürün kalitesine etki eden önemli bir dezavantaja da sahiptir [89].

3.2 Renklendiriciler

Renk genel olarak tüketicide ilk olumlu algıyı bırakması açısından önemli görülmektedir [90]. Özellikle et, sarkoplazmik proteinlerin (miyogloblin vb.) biyokimyasal ve metabolik reaksiyonları sonucu oluşan oksimiyogloblin gibi bileşenler ile ilişkili olarak kırmızı-pembe tonlarında cezbedici bir renge sahiptir [91-92]. Bu nedenle genel olarak ana bileşen olan protein ekstraktının renksiz veya kaynağına göre etten farklı renklere olmasıyla üretilen et analoglarında

arzu edilen rengin elde edilememesi durumunda renklendiriciler kullanılmaktadır [93].

Renk verici yardımcı katkıları arasında doğal olması ile ön plana çıkan kırmızılahana, havuç, kırmızıbiber, nar meyve tozu, pancar suyu özü, elma özleri ve algler gibi bitkilerin ekstraktları kullanılmaktadır [72, 85, 87, 93-94]. Bunların yanında, biyoteknolojik kökenli boyalar da fabrikasyon üretimi mevcut olan ve et analoglarının üretiminde renklendiriciler olarak kullanılan ürünler arasındadır [85]. Bu boyalar arasında leghaemoglobin, et analoglarında arzu edilen kırmızı tonları sağlaması nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır [95-97]. Ancak, renklendirici kullanımında pigment bozulması, oksitlenme reaksiyonları, istenilen seviyenin üzerinde gerçekleşen Maillard reaksiyonları, et analogu ve renklendirici madde arasındaki pH uyumsuzluklarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu durumda ise maltodekstrin ve hidratlı aljinat gibi renk tutucular ile renk göçünün kontrolü sağlanabilmektedir [98-99].

3.3 Aroma arttırıcılar

Doğal hammaddelerin kullanımı ile tam olarak arzu edilen lezzetin yakalanamaması veya bitkisel hammaddeden gelen saponin ve izoflavonlar gibi bileşenlerin acı/hoşa gitmeyen lezzetlerinin baskılanması için işlemenin farklı aşamalarında aroma arttırıcılar kullanılabilir [99-101]. Doğal aroma arttırıcılar arasında en bilinenler acı, ekşi, tatlı ve tuzlu tatları bir arada bulunduracak şekilde baharat kullanımıdır (Tablo 2) [93]. Bu baharatlar arasında başlıca bilinen ve en çok kullanılanlar; fesleğen, kekik, karabiber, kekik, kimyon, hindistan cevizi, zencefil ve karanfil olarak sıralanabilmektedir [85, 102]. Fıstık bazlı et analoglarının kabulünde etkili bir faktör olan duyuşal özelliklerin geliştirildiği bir çalışmada, ticari bir et aromasının yanı sıra lezzet arttırıcılar olarak sarımsak, domates, karabiber ve tuz kullanılmıştır. Çalışmada lezzet arttırıcı ilavesinin tüketici beğenisindeki etkisi vurgulanmıştır [28]. Bununla beraber, hammaddenin yapısal özellikleri ve uygulanan ısıl işlem parametrelerine bağlı olarak gerçekleşen Maillard reaksiyonları, lipid oksidasyonları ve tiaminin ısıl olarak yıkımı ile oluşan uçucu bileşenler, üründe etsi aromayı geliştirilebilmektedir [102].

Doğal aroma katkılarının yanında bazı basit şekerler, amino asitler, glikoproteinler, monosodyum glutamat ve tuzun bir karışımı ile sentetik et aroması geliştirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır [103]. Fakat sentetik aromaların, et analogu kombinasyonu ile uyumsuzluğu sonucu istenmeyen aroma gelişimi, dayanım sürelerinin değişkenliği ve insan vücudunda birikerek oluşturabilecekleri zararlı etkiler (kanserojenik, mutajenik ve teratojenik etkiler) kullanım alanlarını kısıtlamaktadır [102].

3.4 Bağlayıcılar ve tekstüre edici ajanlar

Özellikle emülsiyon tipi et analogları formülasyonlarında stabilizörler, jelleştirici maddeler, koyulaştırıcılar ve kalınlaşmayı sağlayan maddeler kullanılarak ürünlerin dokusal özellikleri iyileştirilmektedir [8]. Et endüstrisinde aljinat, kazein, fibrinojen, trombin, transglutaminaz, karagenan, peynir altı suyu proteini konsantresi, nişasta, keçiyoynuzu zamkı, guar gam ve selüloz son ürünlerin

tekstürel özelliklerini, su tutma kapasitelerini ve son ürünlerin görünümünü iyileştirmek için hali hazırda etkili şekilde kullanılmaktadır [58, 104-106]. Bu katkıları et analogları üretiminde ise, farklı hammaddelerin denenmesi ve iyileştirme çalışmalarında kullanılmakta, özellikle, fibriler yapının elde edilmesi, yağ dağılımının düzenlenmesi, jelleşme özelliği ve matriks yapısının iyileştirilmesi odak noktası olarak araştırılmaktadır [58, 107-108]. Konu ile ilgili bir çalışmada bağlayıcı ajanların (karragenan, kazein, ksantan gam vb.) farklı konsantrasyonların, %5 doymuş yağ ile oluşturulan mantar bazlı sucuk analoglarının kalite özellikleri ve besinsel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bağlayıcı madde olarak karragenan ve ksantan gamı ile hazırlanan numunelerde tekstürel özelliklerde önemli iyileşme gözlenmiştir [109].

Tablo 2. Nohut nugget bileşenleri [20]

Hammadde	%	Hammadde	%
Su	63.50	Yağ	3.20
Nohut unu	30-10	Tavuk baharatı	4.0
Tekstürize bitkisel protein	10-30	Bal	2.5
Yulaf ezmesi (su ile 1:4.5 oranında mix)	34	Soya protein izolatu	2.0
Palm stearin	11.5	Soğan tozu	1.0
Buğday unu	4.0	Sodyum tripolifosfat	0.5
		Tuz	0.5

4 Et analogları üretim teknolojileri

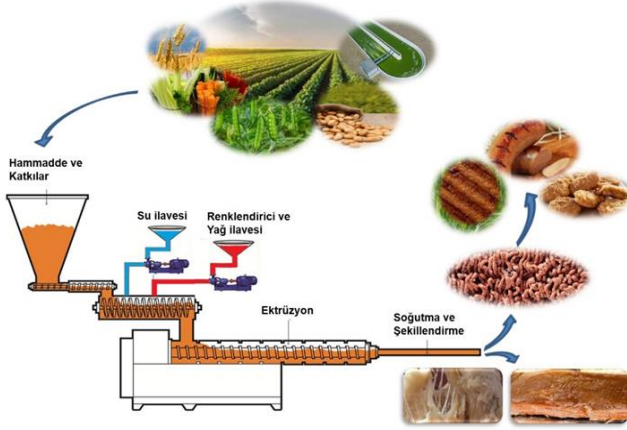
Et analogları üretiminde en temel nokta, eti andıran duyuşal özellik/dokusal profilin uygun teknikler vasıtası ile oluşturulmasıdır. Et analogları üretiminde hammaddenin fizikokimyasal özellikleri, protein içeriği/özellikleri ve oluşturulacak et analogunda istenen dokusal/duyuşal özelliklere göre; başta ekstrüzyon tekniği olmak üzere, hücre kültürü, eğirme, shear cell ve couette hücre tekniği, dondurarak yapılandırma tekniği ile 3D gıda yazıcısı uygulamaları, fermente et analogları, hidrokoloidler ve bitki proteinleri kombinasyonunun oluşturulması gibi birçok teknik kullanılmaktadır [9, 110].

4.1 Ekstrüzyon yöntemi

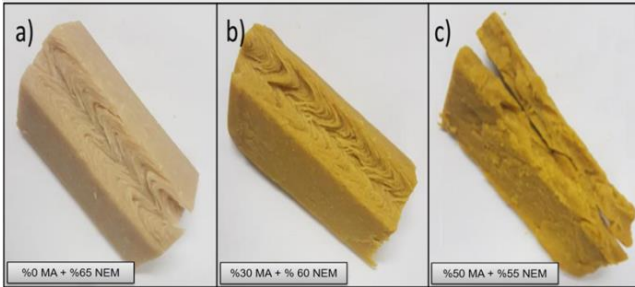
Et analoglarının üretimi genel olarak ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Ekstrüzyon, hammaddelerin kısa bir süre yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvvetlerine maruz kaldığı termomekanik bir işlemdir [111]. Tekstürizasyon et analogları üretiminin temelini oluşturmakta, genel olarak karıştırma [108, 112], ısıtma [28] ve düşük ya da yüksek nemde ekstrüze etme [113] aşamalarını içermektedir. Bu parametrelerin değişimi ile yüksek/düşük nem, tek/çift vida ekstrüzyon tekniği gibi birçok ekstrüzyon işleme yöntemi

uygulanabilmektedir. Günümüzde et analogları üretiminde daha çok çift vidalı ekstrüde cihazlar yer almakta, kullanılan bitkisel protein kaynağına göre uygulanan düşük ve yüksek nem ekstrüzyonları ile et analogları üretimi gerçekleştirilmektedir [8, 114].

Yüksek nem ekstrüzyon teknolojisi (%40'tan daha fazla nem) ile et analoglarının üretiminde; çiğneme, sululuk ve sertlik gibi özellikleri arzu edilen seviyelere ulaşmakta lifli, sert ve kesmeye dirençli, gerçek et görüntüsüne sahip et analogları üretimleri gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 2-3) [29, 114-116].



Şekil 2. Yüksek nem ekstrüzyon teknolojisi



Şekil 3. Hetotrofik olarak kültür edilmiş *Auxenochlorella protothecoides* mikroalginden (MA) farklı kuru ağırlık (KA) oranlarında kullanılarak yüksek nem ekstrüzyonu ile üretilen et analoglarının renk ve tekstürel yapılarındaki değişimler a) % 0 MAKA ve % 65 Nem, b) % 30 MAKA % 60 Nem, c) % 50 MAKA ve %65 Nem [74].

Düşük nem ile ekstrüzyon işleminde kullanılan nem miktarı genel olarak %35 veya daha düşük oranlardadır. Bu işlemde daha düzgün ve homojen yapıya sahip, ancak lifli ve tam et görüntüsünden yoksun son ürünler elde edilmektedir [117]. Dolayısıyla düşük nem ekstrüzyonu ile tekstürize edilen bitkisel proteinler, tam anlamıyla et analogları olarak kullanılmak yerine daha çok kıyma ve kıyma karışım ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [114, 118]. Bu çok işlevli teknik, gıda kalitesi ve üretkenliği işleme boyunca tutarlı olduğu için yaygın kullanılmaktadır. Sistem kolaydır, su ve enerji tasarrufu sağlanmakta ve çeşitli hammaddeler kolaylıkla işlenebilmektedir. Buna rağmen Maillard reaksiyonu, karamelizasyon, hidroliz ve pigmentlerin bozulması nedeniyle meydana gelebilecek renk değişiklikleri

teknikğin olumsuz yanlarındandır ve uygun üretim planının oluşturulması elzem hale gelmektedir [9].

4.2 Hücre kültürü yöntemi

Canlı bir hayvan dokusundan alınan kas hücrelerinin serum takviyeli in vitro koşullarda ve biyoreaktörlerde, önce kas proteinlerini, ardından doku oluşumunu sağlayacak şekilde kopyalanması, hücrelerin elektrik alanlar veya diğer araçlar ile birleştirilerek, hizalanması ile çok hücreli dokuların elde edilmesi işlemidir [119]. Hücre kültürü yönteminin geliştirilmesi için embriyonik kök hücreler, indüklenmiş pluripotent kök hücreler, mezenkimal kök hücreler ve uydu hücreler dahil olmak üzere farklı hücre tipleri [110, 120] ve progenitor hücreler veya fibroblastlar, miyoblastlar gibi çoğalabilen yetişkin hücreler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [121]. Yapılan bir çalışmada, geleneksel et üretimine göre 20 kat daha hızlı ve verimli bu teknolojinin ticarileştirilmesi ile, artan et talebinin daha düşük çevresel etkiyle karşılanabileceği bildirilmektedir [122].

Fakat günümüz teknolojisi ile etkili bir iskelet kası kültürü elde etmek mümkün olsa da donör hayvanların kontrollü yetiştirilmesi ile memeli hücre/doku kültürlerinin kalite kontrolünde zorluklar, biyokimyasal ve biyofiziksel kültür koşulları, kültürde kontaminasyonun veya hastalığın önlenmesinde zorluklar, üretim sürecinin ölçeklenebilirliği, optimizasyon zorluğu gibi dezavantajları bulunmaktadır [110].

4.3 Eğirme tekniği

Simüle et üretiminde kullanılan eğirme yönteminde, konsantre bitki proteini başka polimerlerle karıştırılarak; elektro-spin, hız, çözünürlük, viskozite, iletkenlik ve diğer bileşenlere bağlı olarak bir protein çözeltisi oluşturulmaktadır [123]. Tüm koşullar sağlandığında, liflerin eğildiği bir koni oluşmakta, polimerlerin içinde çözülmesi çözücü eğirme işlemi sırasında buharlaşarak uzaklaşmakta ve polimerlerden oluşan ince kuru lifler meydana gelmektedir [124]. Kutzli vd. [125] farklı protein içeriklerine sahip peynir altı suyu proteini izolatu ve soya proteini izolatu ile maltodekstrin karışımlarından elektro-eğirme yöntemi ile gıda sınıfı liflerin başarılı bir şekilde üretildiğini bildirmektedir. Çalışmada, elektro çekim sırasında maltodekstrin-protein dispersiyonlarının farklı davranışlarının bileşimlerine bağlı olduğu ve eğirme dispersiyonundaki protein türü ve içeriğinin, liflerin üretim hızını doğrudan etkilediği ifade edilmiştir.

Bu yöntem lif çapının tekdüzeligi ve ölçeklenebilir üretim açısından avantajlı iken, elektro-spin işlemi için çeşitli parametreleri kontrol etmenin zorluğu, yüksek oranda asit/alkali çözücü ve su kullanımı ile büyük atık üretimi gibi yönlerden dezavantajlıdır [126].

4.4 Shear cell ve couette hücre tekniği

Akışa bağlı yapılandırma kavramına dayanan bu teknikte, her ikisi de eş merkezli bir reometre konseptine dayanan bir Shear hücresi ve bir konik/silindirik şekilli cihaz olan Couette hücresinde, basit kesme ve ısının bir kombinasyonu ile proteinler lifli yapılar oluşturacak şekilde hizalanmaktadır [24, 126-128]. Bitkisel bazı proteinler ile yapılan çalışmalarda elde edilen liflerin, tavuk lifine benzer şekilde

mekanik mukavemete sahip olacak kadar iyi bir performans elde edildiği bildirilmiştir [9]. Bir Couette hücrelerinde basit kesme akışı ve ısı uygulaması ile bitki proteinlerinin granüller bir karışımına lifli yapısal desenler verilerek et analogu üretiminin modellendiği bir çalışmada sıcaklık 120 °C'de sabit tutularak işlem süresi ve dönüş hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada liflilik 30 dakika ve 25 rpm'de optimum koşullara ulaşmış ve 30 mm kalınlığında et analogları üretilmiştir. Ayrıca, çalışma sonucunda tasarımdaki esneklik sebebiyle şu anda mevcut olmayan boyutlarda et alternatifi ürünlerin üretilmesine olanak tanımlanabileceğini bildirilmiştir [129]. Bununla birlikte, Shear hücrelerindeki kesme hızı, yarıçap boyunca koniler arasındaki giderek artan mesafe nedeniyle tüm protein numunesi hacmi boyunca sabit olmayışı ve yapılandırmanın ölçeklenebilirliğinin sınırlı kalışı, bu uygulamaları laboratuvar ölçeğinde testlerle sınırlamaktadır [24].

4.5 Dondurarak yapılandırma tekniği

Dondurarak yapılandırma veya dondurarak hizalamada, yapı oluşturmak için sulu bir protein çözeltisi dondurulmakta, buz kristallerinin oluşumuyla, hizalı, düzenli gözenekli ve birbirine bağlı lifli mikro yapı elde edilmektedir. Su/nem dondurarak kurutma ile uzaklaştırılmakta, bu da kuru, sert ve lifli protein kütesinin elde edilmesi ile sonuçlanmaktadır [108, 130-131]. Dondurarak yapılandırma tekniği ve farklı oranlarda buğday gluteni ile bezelye kullanılarak et analogları üretmeyi amaçlayan bir çalışmada, elde edilen ürünün fizikokimyasal ve duysal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgularda, bezelye proteininin dahil edilmesinin, et analogunun viskoelastik özelliklerini, sertliği ve çignenebilirliği arttırdığı görülmüştür [131]. Yöntem ile işleme parametrelerine bağlı olarak doğru elastikiyet ve sertlikte tatmin edici bir et analogu üretilebilmekte fakat süre ve donma parametrelerinin dikkatli takibi ve optimizasyonu, yöntem için geliştirilmesi gereken yönler arasında yer almaktadır.

4.6 3D gıda yazıcısı

Bu teknoloji, temelde dokunun dijital olarak modellenmesini içermektedir [132]. Gıda sektöründe yaygınlaşan 3D baskının en ilginç uygulamalarından biri olan et analogu üretiminde, mürekkep püskürtmeli, mikro ekstrüzyon ve lazer destekli baskı gibi teknolojiler yoluyla doku iskeleti oluşturmak için 'biyobaskı' olarak adlandırılan uygulama gerçekleştirilerek, biyolojik materyallerin ve canlı hücrelerin kültürünün biriktirilmesi sağlanmaktadır [133]. Wang vd. [134] yumuşak dokulara sahip hibrit et analoglarının 3D baskısı için bitkisel ve hayvansal protein bazlı formülasyonlar oluşturmak amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, 3D baskı testleri için sırasıyla ana bitki proteini ve et kaynağı olarak bezelye proteini izolatu ve tavuk kıyması kullanmışlardır. Bu seçilen numuneler üzerinde, reoloji ve ileri ekstrüzyon testleri gerçekleştiren araştırmacılar 3 boyutlu bir tavuk nugget şekli elde etmek için ekstrüzyon tabanlı 3 boyutlu baskı yapmışlardır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, bezelye protein izolatına %20 oranında tavuk kıyma ezmesi ilavesi ile daha iyi basılabilirlik ve lif yapısı elde edildiğini bildirmiştir. Şu an piyasada olmayan bu

teknikğin vejeteryan/vegan ve et tüketiminde dini kısıtlaması olan bireyler tarafından kabul görebileceği belirtilmekte, teknolojiye dair ana zorlukların ise, ölçeklenebilirlik süreci, üretim maliyeti, alerjenik durumlar, piyasaya arzda taşıma ve etiketleme olabileceği ifade edilmektedir [135].

4.7 Fermente et analogları

Fermentasyon yüzyıllardır kullanılan ve ürün kalite ve güvenlik özelliklerinde değişimler yaratan bir biyoprosedir. Son yıllarda ise bu ürünlere ek olarak biyoreaktörde bitkisel proteinlerin yeniden yapılandırılması ile et analogu oluşturmak için spesifik fonksiyonel proteinler üretilebilmektedir [9].

Atıkların fermentasyonu yoluyla elde edilen proteinlerin et analogu üretiminde kullanımını inceleyen bir çalışmada işlenmiş soya ürün atıkları fermentasyona (*Lactobacillus (L.) plantarum* ve *L. acidophilus*) tabi tutulmuştur. Fermente soya atığı proteinlerinden elde edilen et analoglarının, protein oksidasyon seviyesi, tekno-fonksiyonel, doku ve duysal özellikleri incelenmiş olup elde edilen ürünlerin uygun lif, bitki bazlı protein ve esansiyel amino asit kaynağı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca fermentasyon uygulamasının et analoglarının su tutma kapasitesini ve duysal özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra sertliği azaltma potansiyeli de bildirilmiş, hammaddelerin fermentasyona tabi tutulmasıyla et analoglarının uygun bir bileşeni haline getirilebildiği belirtilmiştir [136].

Ancak fermentasyonda kullanılan yöntem ve ortam koşullarına bağlı olarak, ürün geliştirmeye çok elverişli olan bu yöntem; karbon kaynakları için yüksek maliyetler, uzun kültür süresi, kontaminasyon olasılığı ve geri kazanım sürecindeki zorluklar dâhil olmak üzere belirli dezavantajlara da sahiptir.

4.8 Hidrokolloidler ve bitki protein kombinasyonları

Kolloidal bir solüsyonda stabil bir emülsiyon oluşturmak için su, bitkisel proteinler ve hidrokolloidlerin kullanıldığı bir sistemdir. Bu teknikte, bir lif oluşturmak için çoğunlukla sodyum aljinat ve metilselüloz gibi hidrokolloidler kullanılırken, et analogunun dokusal konfigürasyonunun da yapısal etkileşimlerden kaynaklanabilecek değişimler dikkatle takip edilmelidir [9].

Soya fasulyesi işleme atıklarından elde edilen katma değerli ürünlerden, hidrokolloidlerin eklenmesiyle istenen özelliklere sahip yeni formüle edilmiş glutensiz et analogu hazırlamak için ekstrüzyon yöntemini kullanan bir çalışmada, glutenin beş farklı hidrokolloid (guar gam, karragenan, ksantan gam, hidroksipropil nişasta ve çapraz bağlı tapyoka nişastası) ile kısmi ikamesi sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan hidrokolloidlerin konsantrasyona bağlı olarak analog özelliklerinin ayrı ayrı etkilediği bildirilmiştir. %1-7 hidrokolloid ilaveli et analogu numunelerinde, kayma hızı arttıkça viskozitenin azalarak psödoplastik davranış gösterdiği bildirilmiştir. Eklenen miktara bağlı olarak guar gam ve ksantan gamın, et analogunun dokusal özellikleri üzerinde hidroksipropil nişasta ve çapraz bağlı tapyoka nişastasından daha büyük bir etkiye sahip olduğu belirtilerek, soya proteini izolatu bazlı et analoglarının, tüketici kabulünü kazanmak için gluten eklemeye ihtiyaç duymadan da hidrokolloid varlığında geliştirilebileceği bildirilmiştir [137].

5 Et analoglarının duyuşal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri

Et analoglarının kabulünde en önemli etkenler; duyuşal özellikleri itibari ile eti aratmayacak şekilde tasarlanarak tüketim zevki vermesi, biyokimyasal özellikleri itibari ile besleyici açıdan yeterli olması ve gıda güvenliği açısından uygun özelliklere sahip olabilmesidir [9, 16, 31, 138].

Duyuşal özellikler üretim parametreleri ve katkı ilavesi ile şekillendirilebilmektedir. Örneğin genel görünümde lifli, sert, kas yapısı veya sulu kıyma benzeri yapı ve birçok tekstürel özellik üretim yöntemleri ile ilintili olarak değişkenlik göstermekte [139-140], renk, lezzet ve koku özellikleri ilave edilen katkıları aracılığı ile sağlanabilmektedir [10, 59, 81, 87, 94].

Et analogunun duyuşal açıdan olduğu gibi biyokimyasal açıdan da taklit ettiği hayvansal ürünün özelliklerini karşılaması gerekmektedir (Tablo 3). Et analoglarında protein, yağ, karbonhidrat, nem ve kül gibi temel besin öğeleri ile amino asit ve yağ asidi kompozisyonu kullanılan hammadde, katkıların türü ve miktarının yanında işleme sırasında kullanılan nem oranına göre kolaylıkla ayarlanabilmektedir [9, 16, 82, 141].

Her gıdada olduğu gibi et analoglarında da mikrobiyal özellikler gıda güvenliği açısından önem arz etmekte ve uygulanan işleme metotları mikroflora direkt etki göstermektedir. Et analoglarının üretim şekline göre bitkisel hammaddelerden protein ekstraktı yapıldığı için hammadde kaynaklı mikroflora devamlılığı sınırlanmaktadır.

Tablo 3. Et ve bitki bazlı burgerlerin besin değerleri açısından kıyaslanması [97]

Besinsel değerler (%)	Et bazlı burger*	Bitki bazlı burger*
Protein	17.96	18.01
Yağ	12.51	11.10
Karbonhidrat	2.09	8.37
Kül	1.79	2.52
Nem	65.91	60.91
Esansiyel Amino asit bileşimi (ham üründe mg/g)		
Histidin	5.82	5.91
İsolösin	5.55	5.08
Lösin	11.64	12.15
Lizin	13.91	9.28
Metiyonin	3.00	0.14
Fenilalanin	6.62	8.99
Triptofan	1.03	1.08
Treonin	6.86	5.72
Valin	6.12	5.59

*:ortalama değerleri ifade etmektedir.

Sonrasında işleme yöntemine de bağlı olarak katkıları ile harmanlanan et analogu hamuru ısıtılma işlemi tabii tutulduğundan, çoğu vejetatif organizma, maya ve küf tipik işleme koşulları altında yok edilmektedir [142-143]. Dolayısıyla, et analogu, biftek tarzında üretildiğinde gerçek ete benzer şekilde raf ömrüne sahip olabilmekte, gıda

güvenliği açısından hammadde kaynaklı kontaminasyon söz konusu olmadığı için daha güvenli olabilmektedir [144]. Diğer taraftan, şarküteri ürünleri şeklinde üretim söz konusu olduğunda, her iki şekilde de ısıtılma işlemi uygulandığından, et analogları ve gerçek et ürünlerinin benzer raf ömrüne ve güvenliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır [145].

6 Tüketici algısı ve gelecek vizyonu

Geleneksel et üretim ve tüketimine alternatif kaynakların arayışı aslında yeni bir konu değildir. Özellikle 1960'lı yıllarda taklit et, sahte et veya et analogları adı altında farklı et alternatifleri kullanılmaya başlanmıştır [146]. Ticari olarak ise 1982 yılında ilk etsiz burger ürünleri Birleşik Krallık'ta piyasaya sürülmüş ardından farklı yıllarda farklı ülkelerde de üretim ve tüketim gerçekleşmiştir [147]. Günümüzde ise Batı ülkelerinde lezzetli etsiz gıdalar olarak ifade edilen et analogları özellikle vegan beslenme tarzının yaygınlaşmasıyla sektörde yerini almakta, özellikle sanayileşmiş ülkelerde yaşam şekline bağlı olarak daha popüler duruma gelmektedir [10].

Tüketici gruplarının et analoglarına genel yaklaşımı, toplumların gelişmişlik ve eğitim düzeyine göre farklılık göstermektedir. Hoşgörülü, maliyet odaklı ve yeniliklere açık tüketici gruplarının et analogları konusunda ön yargılı olmadıkları, değişen yaşam tarzları ve beslenme alışkanlıklarıyla birlikte kabul edilebilirliğin yüksek olduğu görülmektedir [1]. Bununla birlikte et analoglarının kabulünde çevresel etkiler hakkında bilinç, sürdürülebilirlik ve etik konusunda farkındalığın ise daha arka planda olduğu hissedilmektedir [1, 81, 148-149]. Bu bağlamda, et analoglarının da içinde olduğu alternatif besin maddeleri hakkında farkındalık tam oluşmasa da, bu güncel konu ülkelerin de desteklediği birçok araştırma ve projeye konu olmaktadır [150]. Dolayısıyla, önümüzdeki zaman içerisinde tüketici de farkındalık oluşması muhtemel bu alternatif gıdaların algı ve kabul edilebilirliği üzerine çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Son yıllarda kıymaya karıştırılan bitkisel kaynaklar, özellikle yarı et analogları olarak göze çarpan soya ve kıyma karışımı ürünlerin, tüketicinin gündelik hayatında yer almasıyla, bu ürünlere olan ön yargı önemli ölçüde azalmış, bunu gözlemleyen gıda üreticilerine ise yeni bakış açısı getirmiştir [151]. Örneğin Yeni Zelanda'da bazı şirketler et analogları konusunda atılım göstererek, kızartılarak gevreklenen bezelye proteininden yapılan "tavuk parçaları" üretimi ile bitkisel bazlı et ve peynir alternatiflerinin üretimi alanında faaliyet göstermeye başlamıştır [152]. Benzer şekilde makroalglerin Asya ülkelerinde yıllardır besin kaynağı olarak kullanılıyor olması ve makro-mikro alglerin birçok gıda ürünüde farklı amaçlarla yer alması bu hammaddelerden üretilen et analoglarına karşı önemli bir önyargının olmadığını göstermektedir. Yapılan çalışmalarda ürün özelliklerini iyileştirmek ve besleyici değerini artırmak adına makro ve mikro alglerin kullanıldığı fakat [153-154] özellikle mikroalglerin daha dar bir kullanım alanı olsa da, et analogları olarak farklı bitkisel ürünlerle kombinasyonlarının kullanılması için daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir [154]. Ayrıca mikroalglerin et analogları olarak tüketici kabulü üzerine yapılan bir araştırmada,

algerden elde edilen analogların genişleyen kabul görme potansiyelini olduğu belirtilmekte, özellikle tüketicilerin büyük bir çoğunluğunun hayvansal ürünlere alternatif olarak et analoglarının tüketimine daha ılımlı yaklaştıkları bildirilmektedir [155]. ABD, Çin ve Hindistan'da tüketicilerin et analoglarını kabul görme derecelerini ölçmeyi amaçlayan bir anket çalışmasında ise, özellikle Çin'in kabul düzeyinin çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu eğilimin sadece sağlıklı beslenme ile değil, aynı zamanda değişen kuşaklar, gıda kaynağı bilgilerine ulaşılması, hayvan refahı sorunları ve çevre üzerindeki etkilerden de kaynaklanabileceği belirtilen çalışmada, et analogları tüketiminin 2050 yılına kadar %73 artış göstereceği de ifade edilmiştir [156]. Kanadalı tüketiciler üzerine yapılan bir çalışmada da benzer şekilde, tüketiciler arasında et tüketiminin azalması veya et ikamesi seçiminin artış göstermesinin başlıca nedenlerinin, sağlık, et üretiminin çevresel etkisi, fiyat ve hayvan refahı ile ilgili endişeler olduğu ifade edilmektedir [157]. Ticari değeri çok yüksek olmayan bir fasülye türünün (*Mucuna pruriens*) farklı ekstrüzyon koşullarında işlenerek et analogu olma potansiyelinin belirlendiği bir çalışmada, tüketici panelistler tarafından sertlik, doku ve liflilik açısından yüksek beğeni alan ürün tuzluluk, sululuk ve çiğnenme özellikleri açısından ortalama bir beğeni alarak kabul gördüğü, ekstrüzyon koşullarının iyileştirilerek kabul edilebilirliğin daha da artırılacağı belirlenmiştir [139]. Buna ilave olarak, yer fıstığı bazlı bir et analogunun tüketici duyu analizi sonuçları da farklı formülasyon ve işlem koşulları açısından değerlendirilmiş, elde edilen bulgularda soya bazlı analoglar kadar ilgi gören ürünler elde edildiği ancak tekstür geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulduğu rapor edilmiştir [28]. Yapılan tüm laboratuvar ve anket çalışmaları temelinde bu alanda yapılacak ürün geliştirme, kalite ve güvenlik parametrelerinin geliştirilmesi ile duyu özellikleri üzerine yapılacak çalışmaların gerekliliğine vurgu yapılmaktadır.

7 Sonuç

Bitkisel protein kaynaklarından üretilen besinler, değişen tüketim alışkanlıklarıyla birlikte ön plana çıkmakta, yoğunlaştırılmış tek yönlü beslenme tiplerine alternatif olarak gün geçtikçe popüler hale gelmektedir. Bu kapsamda son yıllarda et analogları önemli bir ürün olarak yaygınlaşmaktadır. Et analogları çoğunlukla bitkisel kaynakların kullanıldığı, çeşitli işleme yöntemleri ve katkı ilavesi ile son ürüne et benzeri formun kazandırıldığı ve çoğu toplumun aşına olmadığı gıda maddeleridir. Bu nedenle et analogları ile ilgili belirsizliklerin ve bilgi eksikliklerinin giderilmesi, ete alternatif protein kaynakları ile ilgili teknolojik gelişmelerin belli bir seviyeye gelmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda sürdürülebilirlik ve kabul edilebilirlik de sağlandığında, elde edilen ürünler beslenmenin önemli kaynakları arasında yerini alacaktır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %2

Kaynaklar

- [1] C. Sun, J. Ge, J. He, R. Gan and Y. Fang, Processing, quality, safety, and acceptance of meat analogue products. *Engineering*, 7 (5), 674-678, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.10.011>.
- [2] A. Nardone, B. Ronchi, N. Lacetera, M. S. Ranieri, and U. Bernabucci, Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130 (1-3), 57-69, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>.
- [3] P. R. Ehrlich and J. Harte, Opinion: to feed the world in 2050 will require a global revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (48), 14743-14744, 2015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519841112>.
- [4] FAO, Climate change, agriculture and food security. *The State of Food and Agriculture*, Rome, 2016.
- [5] T. King, M. Cole, J. M. Farber, G. Eisenbrand, D. Zabarar, E. M. Fox and J. P. Hill, Food safety for food security: Relationship between global megatrends and developments in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 160-175, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.014>.
- [6] T. G. Benton, R. Bailey, A. Froggatt, R. King, B. Lee and L. Wellesley, Designing sustainable land use in a 1.5°C world: The complexities of projecting multiple ecosystem services from land. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 31, 88-95, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.01.011>.
- [7] T. He and C. Li, Harness the power of genomic selection and the potential of germplasm in crop breeding for global food security in the era with rapid climate change. *The Crop Journal*, 8 (5), 688-700. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.04.005>.
- [8] K. Kyriakopoulou, J. K. Keppler and A. J. van der Goot, Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods*, 10 (3), 600, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10030600>.
- [9] M. Singh, N. Trivedi, M. K. Enamala, C. Kuppam, P. Parikh, M. P. Nikolova and M. Chavali, Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: A concise review. *European Food Research and Technology*, 247 (10), 2021. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03810-1>.
- [10] K. Kyriakopoulou, B. Dekkers and A. J. van der Goot, Plant-based meat analogues. In *Sustainable meat production and processing*. C. M. Galanakis, Eds. Academic Press, pp. 103-126, 2019.
- [11] M. Garcia-Vaquero and M. Hayes, Red and green macroalgae for fish and animal feed and human functional food development. *Food Reviews International*, 32 (1), 15-45, 2016. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041184>.
- [12] K. Hua, J. M. Cobcroft, A. Cole, K. Condon, D. R. Jerry, A. Mangott, C. Praeger, M. J. Vucko, C. Zeng, K. Zenger and J. M. Strugnell, The future of aquatic protein: Implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1 (3), 316-329, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>.

- [13] H. Nadeeshani, A. Hassouna and J. Lu, Proteins extracted from seaweed *Undaria pinnatifida* and their potential uses as foods and nutraceuticals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17, 2021. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1898334>.
- [14] P. Singh, R. Kumar, S. N. Sabapathy and A. S. Bawa, Functional and edible uses of soy protein products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7 (1), 14–28, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00025.x>.
- [15] A. G. Tarone, L. H. Fasolin, F. D. A. Perrechil, M. D. Hubinger and R. L. Cunha, Influence of drying conditions on the gelling properties of the 7S and 11S soy protein fractions. *Food and Bioproducts Processing*, 91, 111–120, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.010>.
- [16] O. P. Malav, S. Talukder, P. Gokulakrishnan and S. Chand, Meat analog: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (9), 1241–1245, 2015. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.689381>.
- [17] C. Wu, Y. Hua, Y. Chen, X. Kong and C. Zhang, Effect of temperature, ionic strength and 11S ratio on the rheological properties of heat-induced soy protein gels in relation to network proteins content and aggregates size. *Food Hydrocolloids*, 66, 389–395, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.007>.
- [18] L. Zhu, P. Yin, T. Xie, X. Liu, L. Yang, S. Wang, J. Li and H. Liu, Interaction between soya saponin and soy β -conglycinin or glycinin: Air-water interfacial behavior and foaming property of their mixtures. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 186, 110707, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110707>.
- [19] J. H. Chiang, S. M. Loveday, A. K. Hardacre and M. E. Parker, Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues. *Food Structure*, 19, 100102, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.11.002>.
- [20] F. A. A. Abdullah, D. Dordevic, E. Kabourkova, J. Zemancová and S. Dordevic, Antioxidant and Sensorial Properties: Meat Analogues versus Conventional Meat Products. *Processes*, 10(9), 1864, 2022. <https://doi.org/10.3390/pr10091864>.
- [21] C. N. Haidar, E. Coscueta, E. Cordisco, B.B. Nerli and L. P. Malpiedi, Aqueous micellar two-phase system as an alternative method to selectively remove soy antinutritional factors. *LWT*, 93, 665–672, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.025>.
- [22] L. Day, Wheat gluten: Production, properties and application. In *Handbook of Food Proteins*. G.O. Phillips and P.A. Williams Eds. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 267–288, 2011.
- [23] S. Barak, D. Mudgil and B. S. Khatkar, Influence of gliadin and glutenin fractions on rheological, pasting, and textural properties of dough. *International Journal of Food Properties*, 17, 1428–1438, 2014. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.717154>.
- [24] G. A. Krintiras, J. Göbel, A. J. Van der Goot and G. D. Stefanidis, Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a couette cell. *Journal of Food Engineering*, 160, 34–41, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.015>.
- [25] I. Zahari, F. Ferawati, A. Helstad, C. Ahlström, K. Östbring, M. Rayner and J. K. Purhagen, Development of high-moisture meat analogues with hemp and soy protein using extrusion cooking. *Foods*, 9, 772, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9060772>.
- [26] U. Fresán, M. A. Mejia and W. J. Craig, K. Jaceldo-Siegl and J. Sabaté, Meat analogs from different protein sources: a comparison of their sustainability and nutritional content. *Sustainability*, 11 (12), 3231, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11123231>.
- [27] J. Yu, M. Ahmedna and I. Goktepe, Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food chemistry*, 103 (1), 121–29, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.012>.
- [28] D. Rehrach, M. Ahmedna, I. Goktepe and J. Yu, Extrusion parameters and consumer acceptability of a peanut-based meat analogue. *International journal of food science & technology*, 44, 2075–2084, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02035.x>.
- [29] J. Zhang, L. Liu, Y. Jiang, F. Shah, Y. Xu and Q. Wang, High-moisture extrusion of peanut protein-/carrageenan/sodium alginate/wheat starch mixtures: Effect of different exogenous polysaccharides on the process forming a fibrous structure. *Food Hydrocolloids*, 99, 105311, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105311>.
- [30] J. Zhang, L. Liu, Y. Jiang, S. Faisal and Q. Wang, A new insight into the high-moisture extrusion process of peanut protein: From the aspect of the orders and amount of energy input. *Journal of Food Engineering*, 264, 109668, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.015>.
- [31] M. Fiorentini, A. J. Kinchla and A. A. Nolden, Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: A scoping review. *Foods*, 9 (9), 1334, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9091334>.
- [32] S. R. Nadathur, J. P. D. Wanasundara and L. Scanlin, *Sustainable Protein Sources*. Academic Press, USA, 2016.
- [33] S. Huang, L. M. Wang, T. Sivendiran and B. M. Bohrer, Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58 (15), 2673–2678, 2018. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1396202>.
- [34] A. C. Y. Lam, A. Can Karaca, R. T. Tyler and M. T. Nickerson, Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 34, 126–147, 2018. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>.
- [35] R. Chilón-Llico, L. Siguas-Cruzado, C. R. Apaza-Humerez, W. C. Morales-García and R. J. Silva-Paz, Protein Quality and Sensory Perception of Hamburgers Based on Quinoa, Lupin and Corn. *Foods*, 11(21), 3405, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11213405>.

- [36] D. B. Konuskan, M. Arslan and A. Oksuz, Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean region. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26 (2), 340-344, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.04.005>.
- [37] J. P. Wanasundara, Proteins of Brassicaceae oilseeds and their potential as a plant protein source. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51 (7), 635-677. 2011. <https://doi.org/10.1080/10408391003749942>.
- [38] J. P. Wanasundara, T. C. McIntosh, S. P. Perera, T. S. Withana-Gamage and P. Mitra, Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *Oilseeds&fats Crops and Lipids*, 23 (4), D407, 2016. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>.
- [39] A. Chmielewska, M. Kozłowska, D. Rachwał, P. Wnukowski, R. Amarowicz, E. Nebesny and J. Rosicka-Kaczmarek, Canola/rapeseed protein-nutritional value, functionality and food application: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-21, 2020. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1809342>.
- [40] FoodData Central. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172423/nutrients>, Accessed 20 November 2021.
- [41] S. H. M. Gorissen, J. J. R. Crombag, J. M. G. Senden, W. A. H. Waterval, J. Bierau, L. B. Verdijk and L. J. C. van Loon, Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 50, 1685–1695, 2018. *Amino Acids* (2018) <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>.
- [42] Y. Peng, N. Kersten, K. Kyriakopoulou and A. J. van der Goot, Functional properties of mildly fractionated soy protein as influenced by the processing pH. *Journal of Food Engineering*, 275, 109875, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109875>.
- [43] T. D. Alexandrino, R. A. Ferrari, L. M. de Oliveira, S. C. Rita de Cássia and M. T. B. Pacheco, Fractioning of the sunflower flour components: Physical, chemical and nutritional evaluation of the fractions. *LWT*, 84, 426-432, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.062>.
- [44] P. R. Salgado, S. E. Molina Ortiz, S. Petruccielli and A.N. Mauri, Functional food ingredients based on sunflower protein concentrates naturally enriched with antioxidant phenolic compounds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89, 825–836, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1982-x>.
- [45] M. A. Malik and C. S. Saini, Improvement of functional properties of sunflower protein isolates near isoelectric point: Application of heat treatment. *LWT*, 98, 411–417, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.009>.
- [46] M. A. Malik and C. S. Saini, Rheological and structural properties of protein isolates extracted from dephenolized sunflower meal: Effect of high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 81, 229–241, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.052>.
- [47] S. S. Teh, A. E. D. Bekhit, A. Carne and J. Birch, Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seed cake protein isolates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8 (2), 92-104, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11694-013-9168-x>.
- [48] J. H. Kim, N. V. Varankovich, A. K. Stone and M. T. Nickerson, Nature of protein-protein interactions during the gelation of canola protein isolate networks. *Food Research International*, 89, 408–414, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.018>.
- [49] F. O. Uruakpa and S. D. Arntfield, Rheological characteristics of commercial canola protein isolate- κ -carrageenan systems. *Food Hydrocolloids*, 18, 419-427, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.07.001>.
- [50] C. Larré, W. Mulder, R. Sánchez-Vioque, J. Lazko, S. Bérot, J. Guéguen and Y. Popineau, Characterisation and foaming properties of hydrolysates derived from rapeseed isolate. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 49, 40-48, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.02.009>.
- [51] Y. Y. Stark, Y. Wada and A. Wäsche, Chemical composition, functional properties, and bioactivities of rapeseed protein isolates. *Food Chemistry*, 107, 32-39, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.061>.
- [52] M. D. Santos, D. A. V. F. D. Rocha, O. D. Bernardinelli, F. D. Oliveira Júnior, D. G. de Sousa, E. Sabadini, R. L. da Cunha, M. A. Trindade and M. A. R. Pollonio, Understanding the Performance of Plant Protein Concentrates as Partial Meat Substitutes in Hybrid Meat Emulsions. *Foods*, 11(21), 3311, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11213311>.
- [53] J. Gu, Z. Xin, X. Meng, S. Sun, Q. Qiao and H. Deng, A “reduced-pressure distillation” method to prepare zein-based fat analogue for application in mayonnaise formulation. *Journal of Food Engineering*, 182, 1-8, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.026>.
- [54] E. Blanco, S. K. Smoukov, O. D. Velez and K. P. Velikov, Organic-inorganic patchy particles as a versatile platform for fluid-in-fluid dispersion stabilisation. *Faraday Discussions*, 191, 73-88, 2016. <https://doi.org/10.1039/c6fd00036c>.
- [55] S. Jeong, H. W. Kim and S. Lee, Rheological and secondary structural characterization of rice flour-zein composites for noodles slit from gluten-free sheeted dough. *Food Chemistry*, 221, 1539-1545, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.139>.
- [56] B. M. Smith, S. R. Bean, G. Selling, D. Sessa and F. M. Aramouni, Effect of salt and ethanol addition on zein-starch dough and bread quality. *Journal of Food Science*, 82, 613-621, 2017. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13637>.
- [57] J. Glusac, I. Davidesko-Vardi, S. Isaschar-Ovdat, B. Kukavica and A. Fishman, Gel-like emulsions stabilized by tyrosinase-crosslinked potato and zein proteins. *Food Hydrocolloids*, 82, 53-63, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.046>.
- [58] K. D. Mattice and A. G. Marangoni, Comparing methods to produce fibrous material from zein. *Food Research International*, 128, 108804, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108804>.

- [59] P. Kumar, M. K. Chatli, N. Mehta, P. Singh, O. P. Malav and A. K. Verma, Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57 (5), 923-932, 2017. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939739>.
- [60] P. Kumar, B. D. Sharma and R. R. Kumar, Optimization of the egg albumen content in analogue meat nuggets. *Indian Journal of Poultry Science*, 45 (2), 177-179, 2010.
- [61] X. Yuan, W. Jiang, D. Zhang, H. Liu and B. Sun, Textural, sensory and volatile compounds analyses in formulations of sausages analogue elaborated with edible mushrooms and soy protein isolate as meat substitute. *Foods*, 11 (1), 52, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods11010052>.
- [62] A. P. J. Trinci, Evolution of the Quorn® myco-protein fungus, *Fusarium graminearum* A3/5. *Microbiology (Reading)*, 140, 2181-2188, 1994. <https://doi.org/10.1099/13500872-140-9-2181>.
- [63] S. Y. Cho and G. H. Ryu, Effects of oyster mushroom addition on quality characteristics of full fat soy-based analog burger patty by extrusion process. *Journal of Food Process Engineering*, e14128, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14128>.
- [64] J. M. Lorenzo, R. Agregán, P. E. S. Munekata, D. Franco, J. Carballo, S. Sahin, R. Lacomba and F. J. Barba, Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcate*. *Marine Drugs*, 15, 360, 2017. <https://doi.org/10.3390/md15110360>.
- [65] S. L. Holdt and S. Kraan, Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23, 543-597, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>.
- [66] L. Pereira, A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. In *Seaweeds: ecology, nutrient composition and medicinal uses*. V. H. Ponin, Eds. Nova Science Publishers, Hauppauge, pp. 30, 2011.
- [67] M. C. Taboada, R. Millán and M. I. Miguez, Nutritional value of the marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and nori (*Porphyra purpurea*) as food supplements. *Journal of Applied Phycology*, 25, 1271-1276, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9951-9>.
- [68] A. R. Angell, L. Mata, R. de Nys and N. A. Paul, The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal of Applied Phycology*, 28, 511-524, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0650-1>.
- [69] M. L. Wells, P. Potin, J. S. Craigie, J. A. Rayen, S. S. Merchant, K. E. Helliwell, A. G. Smith, M. E. Camire and S. H. Brawley, Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29, 949-982, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>.
- [70] J. M. Ballesteros-Torres, L. Samaniego-Moreno, R. Gomez-Flores, R. S. Tamez-Guerra, C. Rodríguez-Padilla and P. Tamez-Guerra, Amino acids and acylcarnitine production by *Chlorella vulgaris* and *Chlorella sorokiniana* microalgae from wastewater culture. *PeerJ*, 7, e7977, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7977>.
- [71] T. Bito, E. Okumura, M. Fujishima and F. Watanabe, Potential of Chlorella as a dietary supplement to promote human health. *Nutrients*, 12 (9), 2524, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12092524>.
- [72] S. Grahl, M. Palanisamy, M. Strack, L. Meier-Dinkel, S. Toepfl and D. Mörlein, Towards more sustainable meat alternatives: How technical parameters affect the sensory properties of extrusion products derived from soy and algae. *Journal of Cleaner Production*, 198, 962-971, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.041>.
- [73] M. P. Caporgno and A. Mathys, Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 5, 1-10, 2018. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058>.
- [74] M. P. Caporgno, L. Böcker, C. Müssner, E. Stirnemann, I. Haberkorn, H. Adelman, S. Handschin, E. J. Windhab and A. Mathys, Extruded meat analogues based on yellow, heterotrophically cultivated *Auxenochlorella protothecoides* microalgae. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59, 102275, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102275>.
- [75] M. Karaś, A. Jakubczyk, U. Szymanowska, U. Złotek and E. Zielińska, Digestion and bioavailability of bioactive phytochemicals. *International Journal of Food Science & Technology*, 52 (2), 291-305, 2017. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13323>.
- [76] I. Joye, Protein digestibility of cereal products. *Foods*, 8 (6), 199, 2019. <https://doi.org/10.3390/foods8060199>.
- [77] A. G. A. Sá, Y. M. F. Moreno and B. A. M. Carciofi, Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60 (20), 3367-3386, 2020. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688249>.
- [78] M. Lonnie and A. M. Johnstone, The public health rationale for promoting plant protein as an important part of a sustainable and healthy diet. *Nutrition Bulletin*, 45 (3), 281-293, 2020. <https://doi.org/10.1111/nbu.12453>.
- [79] H. G. Zhu, H. Q. Tang, Y. Q. Cheng, Z. G. Li and L. T. Tong, Potential of preparing meat analogue by functional dry and wet pea (*Pisum sativum*) protein isolate. *LWT*, 148, 111702, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111702>.
- [80] H. Singh and F. MacRitchie, Application of polymer science to properties of gluten. *Journal of Cereal Science*, 33 (3), 231-243, 2001. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0360>.
- [81] F. Wild, M. Czerny, A. M. Janssen, A. P. Kole, M. Zunabovic and K. J. Domig, The evolution of a plant-based alternative to meat. *Agro FOOD Industry Hi Tech*, 25 (1), 45-49, 2014.
- [82] S. Samard and G. H. Ryu, A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure

- of meat analogue and meats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (6), 2708-2715, 2019. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9438>.
- [83] N. Sharima-Abdullah, C. Z. Hassan, N. Arifin and N. Huda-Faujan, Physicochemical properties and consumer preference of imitation chicken nuggets produced from chickpea flour and textured vegetable protein. *International Food Research Journal*, 25 (3), 1016-1025, 2018.
- [84] J. Dreher, C. Blach, N. Terjung, M. Gibis and J. Weiss, Formation and characterization of plant-based emulsified and crosslinked fat crystal networks to mimic animal fat tissue. *Journal of Food Science*, 85 (2), 421-431, 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14993>.
- [85] L. Sha and Y. L. Xiong, Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 51-61, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>.
- [86] J. Dreher, M. König, K. Herrmann, N. Terjung, M. Gibis and J. Weiss, Varying the amount of solid fat in animal fat mimetics for plant-based salami analogues influences texture, appearance and sensory characteristics. *LWT*, 143, 111140, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111140>.
- [87] B. M. Bohrer, An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, 8 (4), 320-329, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>.
- [88] L. Godschalk-Broers, G. Sala and E. Scholten, Meat Analogues: Relating Structure to Texture and Sensory Perception. *Foods*, 11(15), 2227, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11152227>.
- [89] M. S. Arshad, M. Sohaib, R. S. Ahmad, M. Nadeem, T. Imran, A. M. U. Arshad, J. H. Kwon and Z. Amjad, Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids. *Lipids in health and disease*, 17 (1), 223, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0860-z>.
- [90] C. Spence, On the psychological impact of food colour. *Flavour*, 4 (1), 1-16, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0031-3>.
- [91] Y. Dai, J. Miao, S. Z. Yuan, Y. Liu, X. M. Li and R. T. Dai, Colour and sarcoplasmic protein evaluation of pork following water bath and ohmic cooking. *Meat Science*, 93(4), 898-905, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.044>.
- [92] B. Marcos, J. P. Kerry and A. M. Mullen, High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators. *Meat Science*, 85(1), 115-120, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.014>.
- [93] J. He, N. M. Evans, H. Liu and S. Shao, 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, 2020. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12610>.
- [94] S. Xia, Y. Xue, C. Xue, J. Xiaoming and J. Li, Structural and rheological properties of meat analogues from *Haematococcus pluvialis* residue-pea protein by high moisture extrusion. *LWT*, 154, 112756, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112756>.
- [95] R. Z. Fraser, M. Shitut, P. Agrawal, O. Mendes and S. Klapholz, Safety evaluation of soy leghemoglobin protein preparation derived from *Pichia pastoris*, intended for use as a flavor catalyst in plant-based meat. *International journal of toxicology*, 37 (3), 241-262, 2018. <https://doi.org/10.1177/1091581818766318>.
- [96] N. R. Rubio, N. Xiang and D. L. Kaplan, Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nature Communications*, 11 (1), 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20061-y>.
- [97] M. De Marchi, A. Costa, M. Pozza, A. Goi and C. L. Manuélian, Detailed characterization of plant-based burgers. *Scientific reports*, 11 (1), 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81684-9>.
- [98] M. W. Orcutt, A. Sandoval, T. J. Mertle, I. Mueller, P. A. Altemueller and J. Downey, U.S. Patent 12, 061,843, 2008.
- [99] K. Kołodziejczak, A. Onopiuk, A. Szpicer and A. Poltorak, Meat Analogues in the perspective of recent scientific research: A review. *Foods*, 11 (1), 105, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods11010105>.
- [100] K. Okubo, M. Iijima, Y. Kobayashi, M. Yoshikoshi, T. Uchida and S. Kudou, Components responsible for the undesirable taste of soybean seeds. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 56 (1), 99-103, 1992. <https://doi.org/10.1271/bbb.56.99>.
- [101] B. Wang, Q. Zhang, N. Zhang, K. H. Bak, O. P. Soladoye, Aluko, R. E., Z. Fu and Y. Zhang, Insights into formation, detection and removal of the beany flavor in soybean protein. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 336-347, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.018>.
- [102] X. Li and J. Li, The Flavor of plant-based meat analogues. *Cereal Foods World*, 65 (4), 2020. <https://doi.org/10.1094/CFW-65-4-0040>.
- [103] L. Webb, A. Fleming, L. Ma and X. Lu, Uses of cellular agriculture in plant-based meat analogues for improved palatability. *ACS Food Science & Technology*, 1 (10), 1740-1747, 2021. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00248>.
- [104] G. P. Hong and Y. L. Xiong, Microbial transglutaminase-induced structural and rheological changes of cationic and anionic myofibrillar proteins. *Meat Science*, 91 (1), 36-42, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.12.002>.
- [105] USDA, <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/additives-meat-and-poultry> Accessed 24 November 2021.
- [106] S. Soto-Jover, M. Boluda-Aguilar, A. Esnoz-Nicuesa, A. Iguaz-Gainza and A. López-Gómez, Texture, oil adsorption and safety of the European style croquettes manufactured at industrial scale. *Food*

- engineering reviews, 8 (2), 181-200, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9130-2>.
- [107] Z. Forghani, M. H. Eskandari, M. Aminlari and S. S. Shekarforoush, Effects of microbial transglutaminase on physicochemical properties, electrophoretic patterns and sensory attributes of veggie burger. *Journal of food science and technology*, 54 (8), 2203-2213, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2614-8>.
- [108] B. L. Dekkers, R. M. Boom and A. J. van der Goot, Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 25-36, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>.
- [109] B. Arora, S. Kamal and V. P. Sharma, Effect of binding agents on quality characteristics of mushroom based sausage analogue. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13134, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13134>.
- [110] M. J. Post, Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat science*, 92 (3), 297-301, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>.
- [111] R. Zhang, S. A. Khan, J. Chi, Z. Wei, Y. Zhang, Y. Deng, L. Liu and M. Zhang, Different effects of extrusion on the phenolic profiles and antioxidant activity in milled fractions of brown rice. *LWT - Food Science and Technology*, 88, 64-70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.09.042>.
- [112] V. L. Pietsch, R. Werner, H. P. Karbstein and M. A. Emin, High moisture extrusion of wheat gluten: Relationship between process parameters, protein polymerization, and final product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 259, 3-11, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.006>.
- [113] F. K. Schreuders, M. Schlangen, K. Kyriakopoulou, R. M. Boom and A. J. van der Goot, Texture methods for evaluating meat and meat analogue structures: A review. *Food Control*, 127, 108103, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108103>.
- [114] R. Osen, S. Toelstede, F. Wild, P. Eisner and U. Schweiggert-Weisz, High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *Journal of Food Engineering*, 127, 67-74, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.023>.
- [115] J. Zhang, L. Liu, H. Liu, A. Yoon, S. S. Rizvi and Q. Wang, Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59 (20), 3267-3280, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1487383>.
- [116] F. Ferawati, I. Zahari, M. Barman, M. Hefni, C. Ahlström, C. Witthöft and K. Östbring, High-moisture meat analogues produced from yellow pea and faba bean protein isolates/concentrate: Effect of raw material composition and extrusion parameters on texture properties. *Foods*, 10 (4), 843, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10040843>.
- [117] S. Samard, B. Y. Gu and G. H. Ryu, Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (11), 4922-4931, 2019. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9722>.
- [118] G. Robin, *Extrusion cooking: Technology and applications*. NW: Wood Head Publishing Limited and CRC Press, Boca Raton, 2001.
- [119] G. L. Garrison, J. T. Biermacher and B. W. Brorsen, How much will large-scale production of cell-cultured meat cost?. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100358, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100358>.
- [120] I. Datar and M. Betti, Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 13-22, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.007>.
- [121] K. D. Fish, N. R. Rubio, A. J. Stout, J. S. Yuen and D. L. Kaplan, Prospects and challenges for cell-cultured fat as a novel food ingredient. *Trends in food science & technology*, 98, 53-67, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.005>.
- [122] V. Bodiou, M. Panagiota and M. J. Post, Microcarriers for upscaling cultured meat production. *Frontiers in nutrition*, 7(10), 2020. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00010>.
- [123] M. Nieuwland, P. Geerdink, P. Brier, P. Van Den Eijnden, J. T. Henket, M. L. Langelaan, N. Stroeks, H.C. van Deventer and A. H. Martin, Reprint of " Food-grade electrospinning of proteins". *Innovative food science & emerging technologies*, 24, 138-144, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.07.006>.
- [124] J. D. Schiffman and C. L. Schauer, A review: electrospinning of biopolymer nanofibers and their applications. *Polymer reviews*, 48 (2), 317-352, 2008. <https://doi.org/10.1080/15583720802022182>.
- [125] I. Kutzli, M. Gibis, S. K. Baier and J. Weiss, Electrospinning of whey and soy protein mixed with maltodextrin—Influence of protein type and ratio on the production and morphology of fibers. *Food hydrocolloids*, 93, 206-214, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.028>.
- [126] J. M. Manski, A. J. van der Goot and R. M. Boom, Formation of fibrous materials from dense calcium caseinate dispersions. *Biomacromolecules*, 8 (4), 1271-1279, 2007. <https://doi.org/10.1021/bm061008p>.
- [127] S. H. Peighambaridoust, A. J. Van Der Goot, R. J. Hamer and R. M. Boom, A new method to study simple shear processing of wheat gluten-starch mixtures. *Cereal chemistry*, 81 (6), 714-721, 2004. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.6.714>.
- [128] J. M. Manski, E. E. van der Zalm, A. J., van der Goot and R. M. Boom, Influence of process parameters on formation of fibrous materials from dense calcium caseinate dispersions and fat. *Food Hydrocolloids*, 22 (4), 587-600, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.02.006>.
- [129] G. A. Krintiras, J. G. Diaz, A. J. Van Der Goot, A. I. Stankiewicz and G. D. Stefanidis, On the use of the Couette Cell technology for large scale production of

- textured soy-based meat replacers. *Journal of Food Engineering*, 169, 205-213, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.021>.
- [130] F. I. Consolacion and P. Jelen, Freeze texturization of proteins: effect of the alkali, acid and freezing treatments on texture formation. *Food microstructure (USA)*, 5 (1), 33-39, 1986.
- [131] O. Yulianti, T. J. K. Kosis and N. J. Yi, Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. *Journal of food engineering*, 288, 110138, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110138>.
- [132] A. Baiano, 3D printed foods: A comprehensive review on technologies, nutritional value, safety, consumer attitude, regulatory framework, and economic and sustainability issues. *Food Reviews International*, 38 (5), 986-1016, 2022. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1762091>.
- [133] S. V. Murphy and A. Atala, 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature biotechnology*, 32 (8), 773-785, 2014. <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>.
- [134] T. Wang, L. Kaur, Y. Furuhashi, H. Aoyama and J. Singh, 3D Printing of Textured Soft Hybrid Meat Analogues. *Foods*, 11 (3), 478, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11030478>.
- [135] F. C. Godoi, S. Prakash and B. R. Bhandari, 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>.
- [136] S. Razavizadeh, G. Alencikiene, A. Salaseviciene, L. Vaiculyte-Funk, P. Ertbjerg and A. Zabulione, Impact of fermentation of okara on physicochemical, techno-functional, and sensory properties of meat analogues. *European Food Research and Technology*, 247 (9), 2379-2389, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03798-8>.
- [137] P. Nanta, W. Skolpap and K. Kasemwong, Influence of hydrocolloids on the rheological and textural attributes of a gluten-free meat analog based on soy protein isolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45 (3), e15244, 2021. <https://doi.org/10.1111/jffpp.15244>.
- [138] J. E. Elzerman, A. C. Hoek, M. A. Van Boekel and P. A. Luning, Consumer acceptance and appropriateness of meat substitutes in a meal context. *Food Quality and Preference*, 22, 233-240, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.10.006>.
- [139] C. I. Omohimi, P. O. Sobukola, K. O. Sarafadeen and L. O. Sanni, Effect of process parameters on the proximate composition, functional and sensory properties. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 7 (4), 269-278, 2013.
- [140] N. Kitcharoenthawornchai and T. Harnsilawat, Characterization of meat analogue nugget: effect of textured vegetable protein. *Food and Applied Bioscience Journal*, 3 (2), 121-129, 2015. <https://doi.org/10.14456/fabj.2015.12>.
- [141] M. Asgar, A. Fazilah, N. Huda, R. Bhat and A. A. Karim, Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9 (5), 513-529, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x>.
- [142] R. Guy, *Extrusion Cooking: Technology and Applications*, G. Robin, Eds. CRC Press, England, 2001.
- [143] C. J. Steel, M. G. V. Leoro, M. Schmiele, R. E. Ferreira and Y. K. Chang, *Thermoplastic Extrusion in Food Processing. Thermoplastic Elastomers*, 265-290, 2012.
- [144] A. J. Tóth, A. Dunay, M. Battay, C. B. Illés, A. Bittsánszky and M. Süth, Microbial Spoilage of Plant-Based Meat Analogues. *Applied Sciences*, 11 (18), 8309, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11188309>.
- [145] P. Yadav, S. S. Ahlawat, G. Jairath, M. Rani and S. Bishnoi, Studies on physico-chemical properties and shelf life of developed chicken meat analogue rolls. *Haryana Veterinarian*, 54 (1), 25-28, 2015.
- [146] M. J. Sadler, Meat alternatives: market developments and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 250-260, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.003>.
- [147] L. M. Keefe, FakeMeat: How big a deal will animal meat analogs ultimately be?. *Animal Frontiers*, 8 (3), 30-37, 2018. <https://doi.org/10.1093/af/vfy011>.
- [148] A. C. Hoek, P. A. Luning, P. Weijzen, W. Engels, F. J. Kok and C. De Graaf, Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person-and product-related factors in consumer acceptance. *Appetite*, 56 (3), 662-673, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.02.001>.
- [149] A. C. Hoek, J. E. Elzerman, R. Hageman, F. J. Kok, P. A. Luning and C. De Graaf, Are meat substitutes liked better over time? a repeated in-home use test with meat substitutes or meat in meals. *Food Quality and Preference*, 28 (1), 253-263, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.07.002>.
- [150] C. Hartmann and M. Siegrist, Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 11-25, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.006>.
- [151] F. Jiang, P. Kongsaree, R. Charron, C. Lajoie, H. Xu, G. Scott and C. Kelly, Production and separation of manganese peroxidase from heme amended yeast cultures. *Biotechnology and Bioengineering*, 99 (3), 540-549, 2008. <https://doi.org/10.1002/bit.21590>.
- [152] K. Sutton, N. Larsen, G. J. Moggre, L. Huffman, B. Clothier, J. Eason and R. Bourne, Opportunities in Plant-Based Foods: Protein. *Plant & Food Research Report Prepared For Ministry of Primary Industries and Plant & Food Research*, 15748, 2018.
- [153] O. Parniakov, S. Toepfl, F. J. Barba, D. Granato, S. Zamuz, F. Galvez and J. M. Lorenzo, Impact of the soy protein replacement by legumes and algae based proteins on the quality of chicken rotti. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2552-2559, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3175-1>.

- [154] F. Boukid and M. Castellari, Food and beverages containing algae and derived ingredients launched in the market from 2015 to 2019: A front-of-pack labeling perspective with a special focus on Spain. *Foods*, 10 (1), 173, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10010173>.
- [155] R. Weinrich and O. Elshiewy, Preference and willingness to pay for meat substitutes based on micro-algae. *Appetite*, 142, 104353, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104353>.
- [156] C. Bryant, K. Szejda, N. Parekh, V. Deshpande and B. Tse, A survey of consumer perceptions of plant-based and clean meat in the USA, India, and China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 11, 2019. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00011>.
- [157] T. M. Ngapo, Meat analogues, the Canadian Meat Industry and the Canadian consumer. *Meat Science*, 108846, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108846>.

