

GASTRONOMİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN FOOD PAİRING LİTERATÜRÜNE ETKİSİ: YAPAY ZEKÂ, 3D BASKI VE SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

The Impact of Gastronomy 4.0 Technologies on the Food Pairing Literature: A Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence, 3D Printing, and Virtual Reality Applications

Doç. Dr. İrfan YURT

Karabük Üniversitesi

E-posta: irfanyurt@karabuk.edu.tr

Orcid ID: 0000-0001-6568-5328

Seher Nazlı EFE

Karabük Üniversitesi

E-posta: nazli.eefe@gmail.com

Orcid ID: 0009-0000-3791-5245

Öz

Çalışmada, Gastronomi 4.0 teknolojilerinin yapay zekâ, 3D baskı ve sanal/artırılmış gerçeklik uygulamalarının food pairing (yiyecek eşleştirme) literatürünün gelişimi üzerindeki etkisini incelemektedir. Web of Science veri tabanında indekslenen 41 makale, bibliometrix ve Biblioshiny paketleri kullanılarak bibliyometrik yöntemle analiz edilmiştir. Analiz kapsamında 1995-2026 yıllarına göre yayın eğilimleri önde gelen yazar ve dergiler, ülke üretkenliği, anahtar kelime eş-oluşum ağları ve tematik gelişim haritaları değerlendirilmiştir. Bulgular, 2017 sonrası belirgin bir yayın artışı yaşandığını ve Çin ile ABD'nin alanda başat konumda olduğunu göstermektedir. Ayrıca veri bilimi, hesaplamalı lezzet modellemesi ve dijital gıda üretim sistemlerinin, food pairing araştırmalarının kavramsal çerçevesini önemli ölçüde dönüştürdüğü belirlenmiştir. Genel olarak Gastronomi 4.0 teknolojilerinin, food pairing çalışmalarını duyuşal ve kimyasal analizlerden algoritmik, model-temelli ve teknoloji entegrasyonlu bir yapıya yönlendirdiği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Food Pairing, Gastronomi 4.0, Yapay Zekâ, 3D Baskı, Sanal Gerçeklik.

Abstract

The study examines the influence of Gastronomy 4.0 technologies—specifically artificial intelligence, 3D food printing, and virtual/augmented reality applications—on the evolution of the food pairing literature. A total of 41 articles indexed in the Web of Science database were analyzed using bibliometric methods through the Bibliometrix and Biblioshiny packages. Within the scope of the analysis, publication trends for the

period 1995–2026, leading authors and journals, country productivity, keyword co-occurrence networks, and thematic development maps were systematically evaluated. Results reveal a marked increase in research activity after 2017, with China and the United States emerging as dominant contributors. The findings further demonstrate that data-driven methodologies, computational flavor modeling, and digitally controlled food production systems have substantially reshaped the conceptual and methodological structure of the field. Overall, Gastronomy 4.0 technologies are accelerating the transition of food pairing research from traditional sensory and chemical analyses toward algorithmic, model-based, and technology-integrated approaches.

Keywords: Food Pairing, Gastronomy 4.0, Artificial Intelligence, 3D Printing, Virtual Reality.

Giriş

Gastronomi alanında lezzet bileşenlerinin bilimsel temellerini açıklamaya yönelik çalışmalar uzun yıllardır aroma kimyası, uçucu bileşik analizi ve duyuşal değerlendirme ekseninde şekillenmektedir. Bu kapsamda food pairing yaklaşımı, gıdaların kimyasal bileşen benzerliklerine dayalı lezzet uyumunu açıklayan disiplinlerarası bir araştırma alanı olarak önem kazanmıştır. Bu yaklaşımın kökeninde, tat–koku etkileşimleri, duyuşal modelleme ve aroma bileşenlerinin kimyasal yapılarının analizi yer almakta olup, literatürün erken dönem çalışmaları doğrudan bu bilimsel altyapıyı oluşturmuştur (Yu et al., 2018).

Son yıllarda dijitalleşme, otomasyon ve veri bilimi uygulamalarının gıda sektöründe hızla yaygınlaşmasıyla birlikte “Gastronomi 4.0” kavramı, üretim süreçlerinin akıllı teknolojilerle bütünleşmesini ifade eder hale gelmiştir. Üretim hatlarında sensör tabanlı veri toplama, makine öğrenmesi modelleri ve hesaplamalı aroma analizi tekniklerinin kullanılmaya başlanması, food pairing araştırmalarını yalnızca kimyasal analiz boyutunun ötesine taşıyarak hesaplamalı bir disipline dönüştürmüştür (Fritz et al., 2023; Chacko et al., 2023). Böylece aroma tahmini, tat profili sınıflandırma ve yeni lezzet moleküllerinin belirlenmesi gibi alanlar büyük veri ve yapay zekâ modelleri ile yeniden şekillenmektedir. Gastronomi 4.0’ın bir diğer bileşeni olan 3D food printing, dijital tasarım, robotik altyapı ve yenilikçi pişirme tekniklerini bir araya getirerek yiyecek üretiminde kişiselleştirme, sürdürülebilirlik ve estetik çeşitlilik sunmaktadır. 3D yazıcılarla çoklu malzeme kullanımı, eş zamanlı kızılötesi pişirme ve karmaşık geometri tasarımları, gastronomik üretim süreçlerinde yeni bir teknolojik paradigma oluşturmuştur (Guo et al., 2019). Bu gelişmeler yalnızca üretim tekniklerinin çeşitlenmesini değil food pairing çalışmalarının tasarım, mühendislik ve tüketici deneyimi bağlamında yeniden yorumlanmasını da mümkün kılmıştır.

Bununla birlikte lezzet eşleştirmeye ilişkin güncel eğilimler, veri bilimi ile aroma kimyası arasındaki etkileşimin arttığını; aroma bileşiklerinin kimyasal benzerliklerinin makine öğrenmesi ile modellenilebildiğini ve bu modellerin gastronomi 4.0 teknolojileri ile bütünleşerek yeni araştırma alanları oluşturduğunu göstermektedir. Örneğin, tat ve aroma moleküllerinin çoklu sınıflandırma problemleri, yeni nesil ML algoritmalarıyla

çözümenebilmekte ve böylece yeni tat moleküllerinin keşfi hızlanmaktadır (Fritz et al., 2023).

Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmanın amacı, Gastronomi 4.0 teknolojilerinin food pairing literatürüne etkisini yapay zekâ, 3D baskı ve sanal gerçeklik uygulamaları üzerinden bibliyometrik bir analiz yaklaşımıyla incelemektir. Çalışmada alandaki yönelimler, atıf dinamikleri, tematik kümelenmeler ve teknolojik dönüşüm eksenleri ortaya konulmakta; böylece food pairing araştırmalarının güncel bilimsel eğilimleri bütüncül bir perspektifle değerlendirilmektedir.

Kavramsal Çerçeve

Food Pairing ve Gastronomi 4.0

Food pairing yaklaşımı, gıdaların kimyasal bileşen benzerlikleri ile duyuşal özellikleri arasındaki ilişkileri analiz ederek lezzet uyumlarını belirlemeyi amaçlayan disiplinlerarası bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Erken dönem çalışmalar, özellikle aroma bileşenlerinin kimyasal yapıları, tat–koku etkileşimleri ve duyuşal değerlendirmenin bilimsel temelleri üzerine yoğunlaşmış; uçucu bileşik analizi ve duyuşal modelleme gibi yöntemler alanın kurucu bileşenlerini oluşturmuştur (Yu, Low & Zhou, 2018; Rodgers, 2016). Bu çerçevede aroma kimyası ve duyuşal analiz üzerine yapılan araştırmalar, food pairing literatürünün çekirdeğini oluşturan bilimsel altyapıyı şekillendirmiştir (Kou et al., 2023). Örneğin, Yu ve arkadaşları (2018) duyuşal analiz ve aroma karakterizasyonunda deney tasarımı ve regresyon modellemesinin rolünü detaylı şekilde inceleyerek alanın metodolojik gelişimine önemli katkı sağlamıştır. Benzer biçimde Guo, Zhang ve Bhandari (2019), 3D gıda baskısı ve dijital modellemenin aroma, doku ve lezzet tasarımına etkisini tartışarak food pairing yaklaşımına mühendislik boyutu kazandırmıştır.

Food pairing literatürü yalnızca duyuşal ve kimyasal analizlerle sınırlı kalmamış, aynı zamanda hesaplamalı yöntemlerle desteklenerek yeni bir bilimsel yönelime evrilmiştir. Erken dönem hesaplamalı çalışmalar, gıda mikrobiyolojisi alanında yapay sinir ağlarının kullanımıyla başlamıştır. Hajmeer, Basheer ve Najjar (1997), mikrobiyal büyümenin tahmin edilmesinde yapay sinir ağlarının uygulanabilirliğini ortaya koyarak gıda biliminde veri odaklı modellemenin öncülerinden biri olmuştur. Bu yaklaşım, daha sonra aroma tahmin sistemleri, duyuşal profil çıkarımı ve flavor network analizleri gibi birçok hesaplamalı food pairing yöntemine temel oluşturmuştur.

Alan 2010 sonrası dönemde önemli bir kavramsal dönüşüm geçirmiş ve gastronomi 4.0 teknolojileri bu evrimin katalizörü olmuştur. 3D gıda baskısının lezzet tasarımı, doku modifikasyonu ve kişiye özel beslenme açısından sunduğu olanaklar, food pairing yaklaşımının uygulama potansiyelini genişletmiştir. Varvara, Szabo ve Vodnar (2021), 3D baskı teknolojisinin dijital olarak tasarlanmış besin üretimindeki rolünü açıklayarak aroma ve doku bileşenlerinin yeniden kurgulanabilir bir yapıya kavuştuğunu ileri sürmüştür. Hertafeld ve çalışma arkadaşları (2019) ise çoklu malzeme tabanlı baskılama ve eş zamanlı kızılötesi pişirme gibi yenilikçi yöntemlerle gastronomi 4.0'ın fiziksel üretim boyutunu geliştirmiştir. Bu iki çalışma, yeni nesil gastronomik üretim

sistemlerinin yalnızca mekanik süreçler olmadığını; lezzet, aroma geliştirme ve sensörük deneyimi doğrudan etkileyen birer “tasarım ortamı” olduğunu göstermektedir.

Veri biliminin yükselişi, food pairing araştırmalarında yeni bir paradigma oluşturmuştur. Kou ve arkadaşları (2023), aroma kimyasının veri odaklı analizler ile yeniden yorumlanabileceğini ortaya koyarak, flavor bileşenlerinin kimyasal ilişkilerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle çözümlenebilir olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Tseng, Chuang ve Appell (2023), büyük veri ve derin öğrenme algoritmalarının aroma tahmini, duyuusal sonuçların modellenmesi ve gıda bileşenlerinin sınıflandırılması gibi süreçlerde nasıl kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, yapay zekâ destekli flavor tahmin sistemlerinin gelecekte food pairing literatürünün temel bileşenlerinden biri olacağını göstermektedir.

Food pairing yaklaşımının hesaplamalı gastronomi ile ilişkisini güçlendiren önemli çalışmalardan biri de Jain, Rakhi ve Bagler’in (2015) Hindistan mutfaklarına yönelik flavor network analizidir. Bu çalışma, gıda bileşenlerinin kimyasal benzerliklerine dayalı büyük ölçekli veri setleri üzerinden tat eşleştirme mantığını sistematik biçimde açıklamış ve bugün birçok yapay zekâ temelli lezzet öneri sisteminin metodolojik temelini oluşturmuştur. Rodgers (2016) ise fonksiyonel gıdaların üretiminde kullanılan modern teknolojik yöntemleri inceleyerek, minimalist işleme tekniklerinin lezzet ve aroma korunumu açısından stratejik önem taşıdığını belirtmiştir. Bu bulgu, food pairing yaklaşımının yalnızca kombinasyon temelli bir analiz olmadığını, aynı zamanda üretim süreçlerinin duyuusal kaliteyi nasıl şekillendirdiğine yönelik geniş bir perspektife sahip olduğunu göstermektedir.

Food pairing araştırmalarının gastronomi 4.0 bağlamındaki bir diğer boyutu, sistemsel risk değerlendirmesi ve güvenli gıda üretimine yöneliktir. Newsome (2009), yüksek riskli mikroorganizmaların ve toksinlerin değerlendirilmesine yönelik çerçevesiyle food pairing literatürünün güvenlik boyutuna dikkat çekmiştir. Bu çalışma, teknolojik yeniliklerin hızla geliştiği bir dönemde gıda güvenliğinin hâlen merkezi bir konu olduğunu vurgulaması bakımından önemlidir.

Genel olarak literatür, food pairing yaklaşımının duyuusal bilim, aroma kimyası, veri bilimi, yapay zekâ, 3D baskı ve dijital tasarım teknolojilerinin etkileşimiyle zenginleşen çok-disiplinli bir alan hâline geldiğini göstermektedir. Son yirmi yılda yapılan çalışmalar, gastronomi 4.0 teknolojilerinin lezzet analizinin kapsamını genişlettiğini, tat uyumu kavramını yalnızca doğal bileşen ilişkilerinden çıkarıp hesaplamalı, model tabanlı ve tasarım odaklı bir yapıya dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır. Bu bütüncül dönüşüm, food pairing araştırmalarının gelecekte hem akademik hem de endüstriyel ölçekte daha sistematik, veri destekli ve teknoloji entegrasyonlu bir çerçevede ilerleyeceğini işaret etmektedir.

Yöntem

Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, gastronomi 4.0 teknolojileri (yapay zekâ, 3D baskı ve sanal/artan gerçeklik) ile food pairing literatürünün kesişiminde yer alan bilimsel araştırmaların gelişimini, yapısını ve eğilimlerini incelemek amacıyla bibliyometrik analiz yöntemini kullanmıştır.

Bibliyometrik analizler; yayın performansını, anahtar kavramların tematik dönüşümünü, entelektüel etkileşimleri ve ortak yazarlık ilişkilerini bilimsel haritalama teknikleriyle ortaya koymayı mümkün kılar (Donthu et al., 2021; Aria & Cuccurullo, 2017).

Bu çalışma, alanın henüz gelişmekte olan yapısı nedeniyle keşifsel (exploratory) bibliyometrik yaklaşımı benimsemektedir. Bibliyometrik çalışmalar çoğunlukla kapsamlı veri setlerine dayanmakla birlikte, henüz gelişmekte olan ya da sınırlı literatüre sahip alanlarda keşif niteliğindeki analizler daha uygun bir yöntem olarak görülmektedir (Donthu et al. (2021). Bu çalışmada elde edilen veri seti yalnızca 41 yayından oluşsa da, bu sayı yüksek derecede uzmanlaşmış ve gelişmekte olan bir araştırma alanı için keşifsel bir bibliyometrik analiz yürütmek açısından tamamen yeterli kabul edilmektedir. Donthu ve ark. (2021) tarafından vurgulandığı üzere, bibliyometrik araştırmalarda veri setinin uygunluğu katı sayısal eşiklerden ziyade çalışılan alanın bütünlüğüne, olgunluk düzeyine ve gelişim aşamasına bağlıdır. Benzer şekilde Aria ve Cuccurullo (2017), eş-ortaya çıkış (co-occurrence), eş-atıf (co-citation) ve kavramsal yapı analizleri gibi bilim haritalama tekniklerinin, tematik açıdan odaklanmış ve görece küçük veri setlerinde dahi anlamlı sonuçlar üretebildiğini belirtmektedir. Bu bağlamda, yiyecek eşleştirme (food pairing), yapay zekâ, 3D baskı ve sanal/artan gerçeklik kesişimi doğal olarak sınırlı sayıda yayın içeren genç bir araştırma alanını temsil etmektedir. Bu nedenle, Web of Science Core Collection'dan elde edilen tüm ilgili kayıtların analize dahil edilmesi, bu niş alanın entelektüel, kavramsal ve tematik gelişimini haritalamak için yeterli ve temsil gücü yüksek bir veri seti sunmaktadır.

Analizler, R 4.x ortamında çalışan bibliometrix paketi ve onun web arayüzü olan Biblioshiny ile gerçekleştirilmiş; tüm grafikler ve tablolar Biblioshiny çıktıları temel alınarak düzenlenmiştir (Aria & Cuccurullo, 2017).

Veri Kaynağı ve Kapsam

Araştırmanın veri kaynağı olarak Web of Science (WoS) Core Collection tercih edilmiştir. WoS'un seçilme nedeni:

- SCI/SSCI standartlarında taranan yayınları içermesi,
- Alanın gelişimini kronolojik olarak izlemeye imkân tanınması,
- Bibliyometrik analizlerde uluslararası kabul görmüş bir veri tabanı olmasıdır.

Çalışmanın odaklandığı alanın görece yeni olmasına rağmen, tüm yıllar tarandığında ulaşılan bu 41 kayıt, literatürün tarihsel gelişimini izlemek ve bilimsel haritalama yapmak için yeterli bir kapsam sunmaktadır.

Tarama, başlangıç yılına herhangi bir kısıtlama getirilmeksizin Web of Science veri tabanında indekslenen tüm yılları kapsamaktadır. Bu kapsamda, veri setine, tarama tarihi olan 1995'ten itibaren yayımlanmış kayıtlar dâhil edilmiştir.

Arama Terimleri ve Sorgu Stratejisi

Çalışmanın amacına uygun olarak geliştirilen tarama dizgisi, food pairing ve flavor science terimlerini gastronomi 4.0 teknolojileriyle ilişkilendirecek biçimde oluşturulmuştur:

"Topic= ("food pairing" OR "flavor pairing" OR "flavour pairing" OR "flavor network*" OR "flavour network*" OR "molecular gastronomy" OR "flavor science" OR "sensory science" OR "ingredient pairing" OR "food combination*")

AND

("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural network*" OR "algorithm*" OR "3d print*" OR "three-dimensional print*" OR "food printing" OR "virtual reality" OR "VR" OR "augmented reality" OR "AR" OR "mixed reality" OR "XR" OR "immersive" OR "digital gastronomy" OR "gastronomy 4.0")"

Bu sorgu sonucunda toplam 41 yayın (30 Article + 11 Review Article) elde edilmiştir. Sadece makale (Article) ve derleme (Review Article) türleri seçilerek veri setinin bilimsel bütünlüğü korunmuştur.

Veri Setinin Bilimsel Geçerliliği

Food pairing–teknoloji kesişimi dünyada henüz yeni bir araştırma alanı olduğundan toplam yayın hacminin sınırlı olması doğaldır. Donthu et al. (2021) ve Aria & Cuccurullo (2017), bibliyometrik analizlerde veri büyüklüğünün kesin bir sayısal eşikle sınırlı olmadığını; erken aşamadaki bilimsel alanlarda küçük fakat tutarlı veri setlerinin anlamlı bilimsel haritalama yapmaya yeterli olduğunu vurgulamaktadır. Web of Science Core Collection taraması sonucunda elde edilen 41 yayın (30 özgün araştırma makalesi ve 11 derleme) alanın literatürünü temsil edecek yeterlilikte görülmüş olup, bibliyometrik göstergeler (co-occurrence, co-citation, conceptual structure) açısından gerekli veri hacmini sağlamaktadır. Bu nedenle, WoS'tan elde edilen 41 yayın, alanın entelektüel ve tematik yapısını temsil etmek için yeterli görülmüştür.

Tablo 1. Bibliyometrik Analizlerde Yayın Sayısına Göre Veri Seti Yeterlilik Sınıflandırması

Yayın Sayısı	Bilimsel Değerlendirme
0–20	Yetersiz; güçlü ağ ve tematik analizler yapılamaz
20–40	Sınırlı ancak niş/erken gelişen alanlar için yeterli
40–100	Orta ölçekli veri seti; bibliyometrik analiz için en uygun aralık
100–300	Büyük veri seti; detaylı ve çok katmanlı analiz yapılabilir
300+	Aşırı büyük; veri temizleme zorlaşır, gürültü artar

Kaynak: (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021),

Bibliyometrik analizlerde minimum yayın sayısına ilişkin literatürde kesin bir sayısal eşik bulunmamaktadır. Metodolojiye ilişkin temel çalışmalar (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021), veri seti büyüklüğünün alanın gelişmişlik düzeyine ve araştırma amaçlarına göre değiştiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle Tablo X, bibliyometrik uygulamalarda yaygın kabul gören pratik sınıflandırmalardan yararlanılarak oluşturulmuş kavramsal bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Çalışmamızda elde

edilen 41 yayınlık veri seti, bu sınıflandırmaya göre bibliyometrik bilimsel haritalama için yeterli ve temsil gücü yüksek kabul edilmektedir.

Bulgular ve Yorumlar

Veri setinin genel profili

Tablo 2. Veri setinin temel bibliyometrik göstergeleri (1995–2024).

Göstergeler	Değer
Zaman Aralığı	1995–2026
Kaynak Sayısı (Dergi/Yayın Organı)	34
Doküman Sayısı	41
Yıllık Büyüme Oranı	%2,26
Yazar Sayısı	201
Tek Yazarlı Dokümanların Yazarları	2
Uluslararası Ortak Yazarlık Oranı	%43,9
Doküman Başına Ortak Yazar Sayısı	5,02
Yazar Anahtar Kelimeleri (DE)	177
Toplam Atıf Sayısı (Referanslar)	2706
Doküman Ortalama Yaşı	4,41
Doküman Başına Ortalama Atıf Sayısı	20,37

Biblioshiny tarafından üretilen temel bibliyometrik göstergeler, gastronomi 4.0 teknolojileri ile food pairing literatürünün yapısal özelliklerini net biçimde ortaya koymaktadır. Veri seti, 1995–2026 yılları arasında yayımlanmış 41 makaleden oluşmakta ve 34 farklı bilimsel kaynaktan yer alması, alanın belirgin biçimde çok-disiplinli olduğunu göstermektedir.

Toplam 201 yazarın katkı sunduğu veri setinde yayın başına ortalama 20.37 atıf ve yazar başına 4.41 yayın değeri, alanın hem yüksek görünürlüklü hem de geniş katılımlı bir yapıda olduğunu göstermektedir. Belirgin iş birliği eğilimi ise Co-Authors per Document değerinin 5.02 olmasıyla doğrulanmaktadır. Ayrıca %43.9 oranındaki uluslararası ortak yazarlık, araştırma alanının küresel ölçekte geliştiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, tek yazarlı çalışmaların çok az olması, konunun doğası gereği laboratuvar, dijital modelleme ve teknoloji tabanlı ekip çalışması gerektirdiğini düşündürmektedir.

Veri setindeki 177 anahtar kelime ve 2706 atıf, 2015 sonrası özellikle yapay zekâ, makine öğrenmesi, 3D baskı ve VR/AR gibi teknolojilerin food pairing literatüründe yaygınlaştığını göstermektedir. %2.26’lık yıllık büyüme oranı, alanın henüz genç ancak istikrarlı biçimde gelişen bir araştırma sahası olduğunu işaret etmektedir.

Genel olarak bulgular, gastronomi 4.0 ve food pairing çalışmalarının uluslararasılaşma düzeyi yüksek, iş birliğine dayalı, yüksek atıf etkisine sahip ve disiplinlerarası bir yapıda olduğunu göstermektedir. Bu göstergeler, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sunulan kavramsal ve tematik ağ analizleri için güçlü bir çerçeve oluşturmaktadır.

Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

Yıllara göre yayın dağılımı, gastronomi 4.0 teknolojilerinin (yapay zekâ, 3D baskı ve VR/AR) food pairing literatürüne entegrasyonunun aşamalı bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Veriler, alanın üç dönemsel evre geçirdiğini göstermektedir.

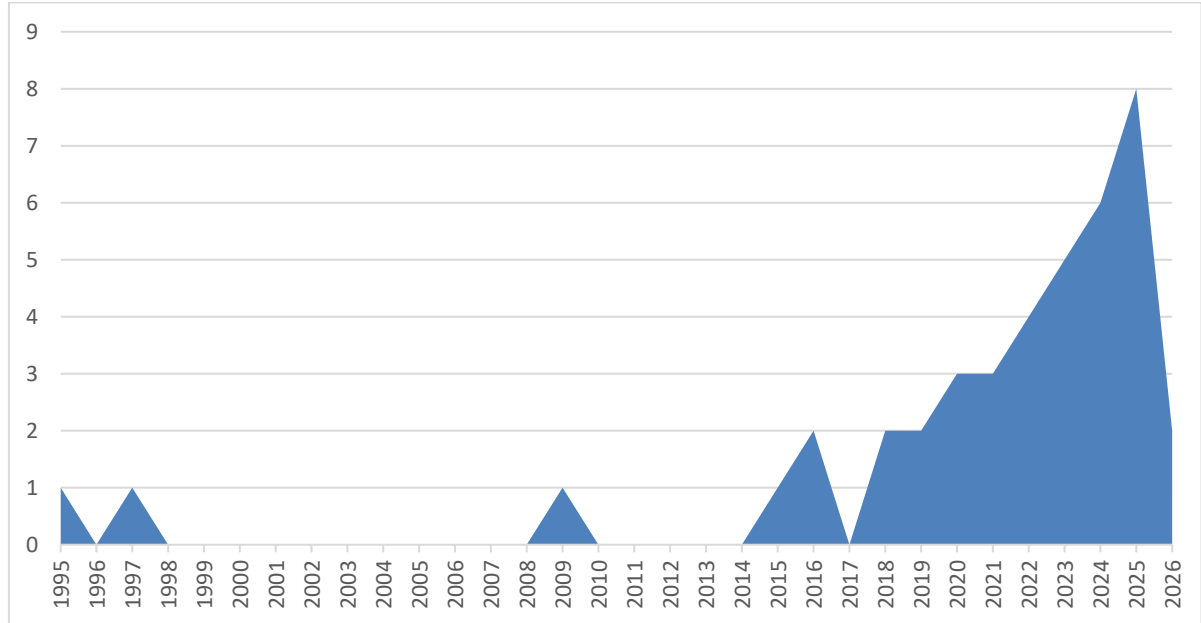
1995–2010 dönemi, yalnızca birkaç yayınlı temsil edilen ve uzun süre düşük üretimle ilerleyen erken aşamadır. Bu dönem, food pairing yaklaşımının henüz yeni tartışılmaya başlandığı, dijital teknolojilerin ise gastronomi araştırmalarında kullanılmadığı bir süreci yansıtmaktadır.

2010–2016 arasında yayın hacmi kısmen artmış olsa da üretim yine sınırlı kalmıştır. Bu dönem, duyu analizi, flavor network ve veri temelli tat modelleme çalışmalarının ilk örneklerinin görüldüğü, ancak gastronomi 4.0 bileşenlerinin henüz alana tam olarak yansımadağı bir geçiş evresi niteliğindedir.

2017 sonrası ise belirgin bir ivmelenme başlamıştır. 2020’den itibaren yıllık yayın sayısının düzenli şekilde artması (2023’te 6, 2024’te 8 yayın) gastronomi 4.0’ın alana güçlü biçimde entegre olduğunu göstermektedir. Bu yükseliş, yapay zekâ tabanlı lezzet eşleştirme, 3D gıda baskısı, veri bilimi destekli tat modelleme ve VR/AR temelli duyu deneyim çalışmalarının hızla yaygınlaşmasıyla ilişkilidir.

2025 yılı için görülen düşük değer, yılın henüz tamamlanmamış olmasından kaynaklanan tipik bibliyometrik bir durumdur.

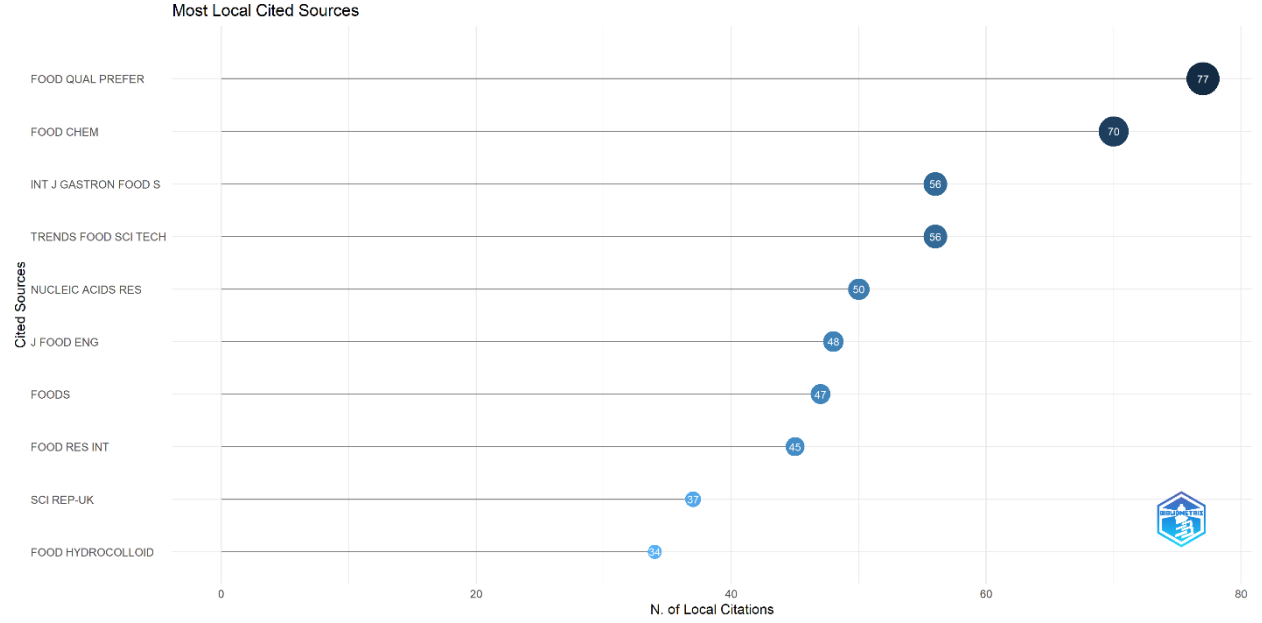
Genel olarak bulgular, food pairing ve gastronomi 4.0 ilişkisinin 2016 sonrası yükselen, 2020 sonrası ise hızla genişleyen bir araştırma alanına dönüştüğünü göstermektedir. Bu eğilim, gastronomide dijitalleşmenin ve teknoloji temelli yöntemlerin akademik literatürde giderek daha merkezi bir konum edindiğini açık biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Çalışmaların Yıllara Göre Bilimsel Yayın Dağılımı (1995–2026)

En Çok Atıf Alan Kaynaklar (Most Local Cited Sources)

Tablo 3. En çok atıf alan dergiler



Grafikte sunulan “Most Local Cited Sources” analizi, gastronomi 4.0 ve food pairing literatürünün hangi kaynaklar üzerinden şekillendiğini göstermesi açısından önemlidir. Veri集中的indeki çalışmaların en çok atıf yaptığı dergiler, alanın teorik temelini ve bilgi birikiminin hangi disiplinlerden beslendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

En yüksek yerel atıfa sahip Food Quality and Preference (77), duyuusal analiz ve tüketici tercihleri üzerine yoğunlaşması nedeniyle food pairing çalışmalarının çekirdek referans kaynağını oluşturmaktadır. Food Chemistry (70) ise aroma bileşenleri, uçucu maddeler ve gıda kimyasına odaklanan çalışmalarıyla alanın moleküler temelini desteklemektedir. Bu iki derginin öne çıkması, food pairing yaklaşımının hem duyuusal hem de kimyasal/moleküler düzeyde temellendiğini göstermektedir.

International Journal of Gastronomy and Food Science ve Trends in Food Science & Technology (her ikisi 56 atıf), gastronomi ile ileri gıda teknolojileri arasındaki çok-disiplinli kesişim alanını temsil etmektedir. Bu kaynaklar, uygulamalı gastronomi, yenilikçi gıda teknolojileri ve bilimsel tat modelleme çalışmalarında yön verici role sahiptir.

Diğer önemli kaynaklar arasında Nucleic Acids Research (50), Journal of Food Engineering (48), Foods (47) ve Food Research International (45) bulunmaktadır. Bu dergiler, biyoinformatik tabanlı aroma veri tabanları, 3D gıda baskısı, doku tasarımı ve duyuusal profil araştırmalarının gelişmesinde belirleyici katkılar sunmaktadır. Scientific Reports (37) ve Food Hydrocolloids (34) ise özellikle yapay zekâ, büyük veri ve 3D baskı temelli çalışmaların destekleyici bilimsel altyapısını sağlamaktadır.

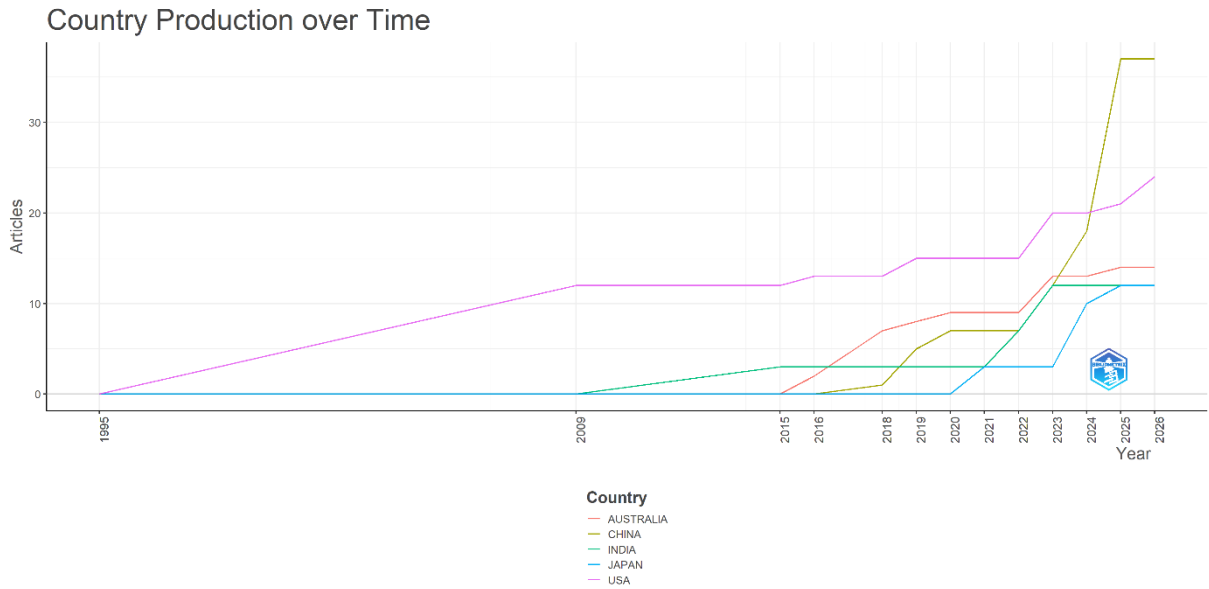
Genel olarak bu dağılım, food pairing literatürünün üç ana ekseninde yapılandığını göstermektedir:

1. Duyusal bilim ve tüketici algısı,
2. Aroma kimyası ve moleküler bileşen analizi,
3. İleri gıda teknolojileri ve gastronomi uygulamaları.

Ayrıca biyoinformatik ve yapay zekâ odaklı dergilerin listede yer alması, gastronomi 4.0 etkisiyle alanın dijitalleşme ve veri bilimi yönünde genişlediğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Ülkelere Göre Yayın Üretimi

Şekil 2. Ülkelere Göre Yıllık Yayın Üretim Eğilimleri



arasında yükseliş hızlanmıştır. 2024'te yaklaşık 12 yayına ulaşması, ülkenin özellikle Computational Gastronomy ve Flavor Network çalışmalarıyla alanda belirleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Japonya, alana daha geç dahil olmakla birlikte 2020 sonrası hızlı bir yükseliş göstermiştir. 2023–2024'teki artışlar, Japonya'nın robotik mutfak sistemleri, otomasyon ve AI destekli gıda tasarımı konularındaki teknolojik altyapısıyla uyumludur.

Avustralya, 2015 sonrası düzenli fakat daha ılımlı bir yükseliş göstermekte; 2024 itibarıyla yaklaşık 14 yayınlı orta düzeyde katkı sunmaktadır. Duyusal analiz, bitki bazlı ürün inovasyonu ve gıda güvenliği alanları Avustralya'nın temel odaklarını oluşturmaktadır.

Genel olarak ülke eğilimleri, alanın ilk aşamada ABD merkezli geliştiğini, 2020 sonrası Çin ve Hindistan'ın yükselişiyle küresel rekabetin belirginleştiğini, Japonya'nın teknolojik gücüyle hızla yükseldiğini ve Avustralya'nın istikrarlı ama daha düşük hacimli bir katkı sunduğunu göstermektedir. Bu ivmelenme, gastronomi 4.0'ın yapay

zekâ, 3D baskı ve hesaplamalı tat analizi gibi teknolojilerle bütünleşmesinin doğal bir sonucudur.

En Çok Küresel Atıf Alan Çalışmalar

Bu bölümde, gastronomi 4.0 teknolojileri ve food pairing alanında küresel ölçekte en yüksek etki değerine sahip çalışmalar özetlenmiştir. Tablo, literatürün hangi bilimsel temeller üzerine inşa edildiğini, hangi temaların öne çıktığını ve alanın gelişiminde belirleyici olan öncü makaleleri göstermektedir.

Tablo 4. Gastronomi 4.0 teknolojileri ve food pairing literatürüne dünya genelinde en fazla atıf alan çalışmalar.

Makale Adı	Yazar(lar)	Yıl	Dergi Adı	Atıf Sayısı	Yıllık Ortalama Atıf Sayısı
Model Building and Slicing in Food 3d Printing Processes: a Review	Guo C; Zhang M; Bhandari B	2019	Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety	125	17.8
Design of Experiments and Regression Modelling in Food Flavour and Sensory Analysis: a Review	Yu P; Low My; Zhou W	2018	Trends in Food Science & Technology	121	13.4
Computational Neural Networks for Predictive Microbiology .2. Application to Microbial Growth	Hajmeer Mn; Basheer Ia; Najjar Ym	1997	International Journal of Food Microbiology	83	2.96
3d Food Printing: Principles of Obtaining Digitally-Designed Nourishment	Varvara Ra; Szabo K; Vodnar Dc	2021	Nutrients	66	22.0
3D Printing and Additive Manufacturing	Hertafeld E; vd.	2019	3D Printing and Additive Manufacturing	54	7.7
Analysis of Food Pairing in Regional Cuisines of India	Jain A; Rakhi Nk; Bagler G	2015	PLOS ONE	53	3.5
Minimally Processed Functional Foods: Technological and Operational Pathways	Rodgers, S.	2016	Journal of Food Science	47	3.6
Data-Driven Elucidation of Flavor Chemistry	Kou X; vd.	2023	Journal of Agricultural and Food Chemistry	35	17.5
When Machine Learning and Deep Learning Come to the Big Data in Food Chemistry	Tseng Yj; Chuang Pj; Appell M	2023	ACS Omega	28	14.0
Development of a Risk-Ranking Framework to Evaluate Potential High-Threat Microorganisms, Toxins, and Chemicals in Food	Newsome, R.	2009	Journal of Food Science	28	1.64

Tablo 4’te yer alan en çok küresel atıf alan çalışmalar, gastronomi 4.0 ve food pairing literatürünün hangi bilimsel temeller üzerine inşa edildiğini açık biçimde göstermektedir. Listenin başında yer alan Guo (2019) ve Yu (2018) çalışmaları sırasıyla 125 ve 121 atıfla alanın temel referanslarını oluşturmaktadır. Bu iki çalışma aroma kimyası, duyuusal değerlendirme ve flavor bileşenleri arasındaki etkileşim gibi food pairing araştırmalarının çekirdek bilimsel arka planını temsil etmektedir. Bu durum, gastronomi 4.0 teknolojileri yükselse dahi literatürün hâlâ gıda bilimi ve duyuusal analiz ekseninde şekillendiğini göstermektedir.

Üçüncü sıradaki Hajmeer (1997), gıda mikrobiyolojisinde kullanılan erken dönem yapay sinir ağı uygulamalarını temsil ederek güncel hesaplamalı gastronomi çalışmalarının tarihsel temelini oluşturmaktadır. 3D food printing alanındaki Varvara (2021) ve Hertafeld (2019) gibi çalışmaların yüksek atıf alması ise dijital tasarım, çoklu malzeme kullanımı ve robotik mutfak süreçlerinin gastronomi 4.0 literatüründe hızla önem kazandığını göstermektedir.

Hindistan mutfaklarına yönelik tat ağı analizini ortaya koyan Jain’in çalışması ise (2015, 53 atıf) flavor network yaklaşımının küresel literatürdeki etkisini kanıtlamakta ve günümüzde geliştirilen AI temelli lezzet öneri sistemlerinin teorik temellerini oluşturmaktadır.

Son yıllarda yayımlanan Kou (2023), Tseng (2023) ve Varvara (2021) gibi çalışmaların yüksek **yıllık ortalama atıf** alması (14–22 arası), 2020 sonrası dönemde food pairing araştırmalarının ivmelenerek görünürlüğünün arttığını ortaya koymaktadır. Bu eğilim; makine öğrenmesi, büyük veri kullanımı ve 3D baskı teknolojilerinin aroma kimyası ile entegrasyonundan kaynaklanmaktadır.

Listedeki Newsome (2009) ise doğrudan food pairing kapsamında olmasa da gıda güvenliği ve tehdit analizine odaklanmasıyla gastronomi 4.0’ın yalnızca inovasyon değil, aynı zamanda güvenlik ve risk yönetimi boyutlarını da içerdiğini göstermektedir.

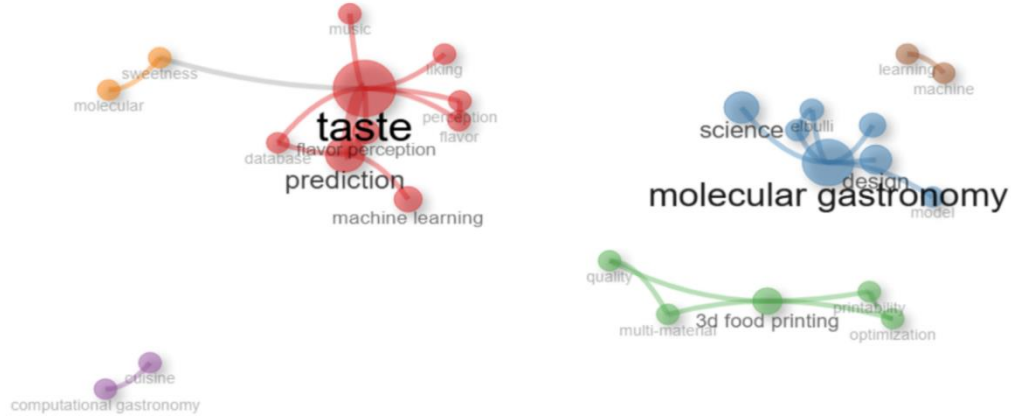
Genel olarak tablo, alanın üç ana ekseninde geliştiğini göstermektedir:

1. Duyusal bilim ve aroma kimyası,
2. Hesaplamalı modeller ve veri bilimi,
3. 3D gıda üretimi ve yeni gastronomik teknolojiler.

Anahtar Kelime Co-Occurrence Ağı

Kavramsal eş-oluşum ağı, food pairing ve gastronomi 4.0 literatüründe en sık birlikte kullanılan anahtar kelimeleri gruplar hâlinde göstermektedir. Grafik, araştırma alanının tat algısı, moleküler gastronomi ve 3D gıda baskısı gibi çekirdek temalar etrafında şekillendiğini ortaya koyarak literatürün kavramsal yapısını net biçimde yansıtmaktadır.

Grafik 1. Food Pairing ve Gastronomi 4.0 Literatüründe Anahtar Kelimelerin Kavramsal Kümelenmesi (Conceptual Structure Map)



Grafik, gastronomi 4.0 ve food pairing literatürünün iki ana eksen etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. İlk eksen, “taste–prediction–flavor perception” merkezli kırmızı kümedir ve bu yapı özellikle duyuşsal algı, tat bileşenleri, veriye dayalı tat tahmini ve makine öğrenmesi kavramları etrafında şekillenmektedir. Bu durum, alanda yapay zekâ destekli duyuşsal analizlerin giderek güçlenen bir araştırma yönelimi olduğunu göstermektedir.

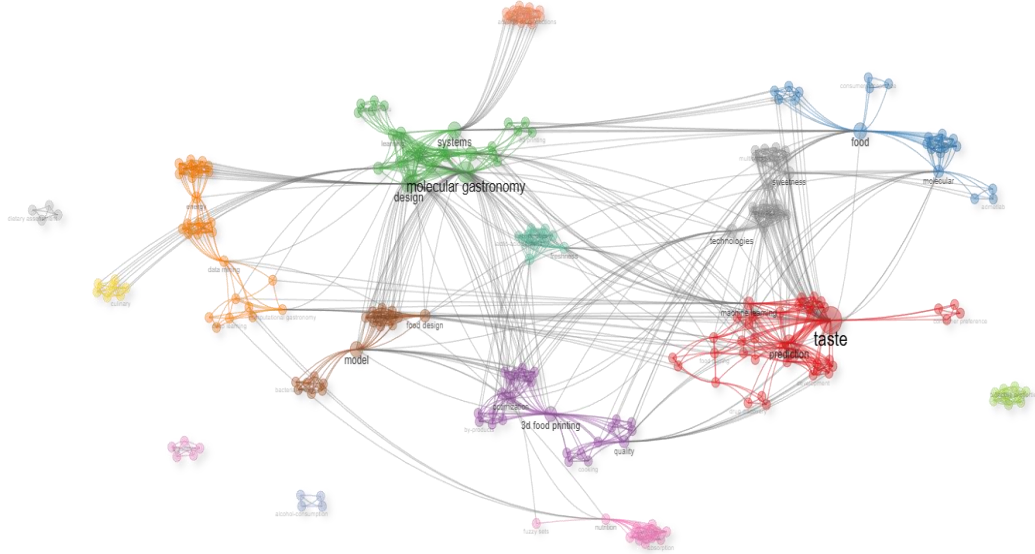
İkinci büyük eksen ise “molecular gastronomy” merkezli mavi ve yeşil kümelerdir. Mavi küme bilimsel yaklaşımı (science, design, model), yeşil küme ise 3D food printing, multi-material, quality, printability gibi gastronomi 4.0’ın teknik ve mühendislik boyutunu temsil eder. Bu yapı, moleküler gastronominin hem teorik hem de teknolojik üretim süreçleriyle bütünleştiğini göstermektedir.

Haritada ayrıca daha küçük kümeler bulunmaktadır: sweetness–molecular ilişkisini gösteren duyu kimyası odaklı turuncu küme ve computational gastronomy–cuisine ikilisini içeren mor küme. Bu küçük kümeler, alanın yöntemsel ve kültürel yönlerinin ikincil fakat tamamlayıcı roller taşıdığını göstermektedir.

Genel olarak harita, food pairing literatürünün (1) duyuşsal-tahmin modelleri ve (2) moleküler gastronomi–3D baskı teknolojileri olmak üzere iki ana tematik hattı bulunduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır.

Tematik harita (Thematic Map)

Şekil 3. Gastronomi 4.0 ve Food Pairing Literatüründe Kavramsal İşbirliği ve Tematik Ağ Yapısı



Grafik, gastronomi 4.0 ve food pairing literatüründeki tematik kümelerin oldukça yaygın, çok-merkezli ve disiplinler arası bir yapıda örgütlendiğini göstermektedir. Ağ genelinde, birbirine bağlı büyük kümeler ve daha küçük bağımsız alt gruplar bulunmaktadır.

En yoğun bağlantılar, “prediction–machine learning–deep learning” ekseninde yer alan kırmızı kümede görülmekte; bu yapı, alandaki hesaplamalı ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımların merkezî rolünü ortaya koymaktadır. Buna paralel olarak, geniş yeşil küme molecular gastronomy, structure, sensory quality, optimization gibi kavramlar etrafında toplanmış olup literatürün bilimsel ve teknik boyutunu temsil etmektedir.

Mavi küme, design–science–model kavramları ile yöntemsel ve kuramsal katkıları bir araya getirirken; turuncu ve sarı alt kümeler flavor chemistry, sweetness, aroma, ingredient interactions gibi duyuşal ve kimyasal boyutları göstermektedir.

Ağın geniş dağılımı ve kümeler arası yoğun bağlantılar, gastronomi 4.0 çalışmalarının gıda bilimi, mühendislik, duyuşal analiz, veri bilimi ve moleküler gastronomi gibi çok farklı alanların kesişiminde yürütüldüğünü göstermektedir. Bu yapı, literatürün giderek çok-disiplinli bir araştırma ekosistemine dönüştüğünü açıkça ortaya koymaktadır.

Three-fields plot, literatürde en çok başvurulmuş kaynaklar (CR), öne çıkan yazarlar (AU) ve araştırmaların yoğunlaştığı tematik anahtar kelimeler (DE) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafik, özellikle Bagler, Bacha, Zhang, Jimenez-Mavillard ve Lipson gibi yazarların, literatürde güçlü şekilde referans verilen çalışmalar ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Sağ taraftaki anahtar kelime bölümünde 3D food printing, machine learning, computational gastronomy, data mining, food design ve nutrition gibi kavramların yoğunlaşması, bu yazarların çalışmalarının gastronomi 4.0'ın hem teknolojik (3D baskı, optimizasyon) hem de hesaplamalı yönü (AI, veri madenciliği) ile örtüştüğünü ortaya koymaktadır.

Grafik genel olarak food pairing literatüründe hesaplamalı yöntemler + moleküler gastronomi + 3D gıda baskısı odağının güçlü bir biçimde birleştiğini ve bu temaların belirli yazarlar çevresinde toplandığını göstermektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı, gastronomi 4.0 teknolojilerinin—özellikle yapay zekâ, 3D baskı ve sanal gerçeklik uygulamalarının—food pairing literatüründeki bilimsel yönelimlere nasıl bir etki oluşturduğunu bibliyometrik açıdan incelemektir. Web of Science veri tabanından elde edilen 41 makale üzerinden gerçekleştirilen analizler, alanın yıllar içinde belirgin bir gelişim kaydettiğini ve özellikle 2017 sonrası dönemde hızlı bir ivme kazandığını ortaya koymuştur. Ülke üretim verileri, Çin ve ABD'nin yayın hacminde öne çıktığını; tematik ağlar ise aroma kimyası, duyu analizi, yapay zekâ tabanlı modelleme ve 3D gıda baskısının literatürde merkezî konumda olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, teknolojik dönüşümün food pairing yaklaşımını daha hesaplamalı, veri odaklı ve tasarım temelli bir yapıya dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır.

Öneriler;

Yapay zekâ ve makine öğrenmesine dayalı aroma tahmin modellerinin gıda bilimi alanındaki uygulama yelpazesinin genişletilmesi, disiplinin metodolojik çeşitliliğini artıracaktır. Bu bağlamda, hesaplamalı lezzet profilleri, veri madenciliği yaklaşımları ve aroma bileşenlerinin kimyasal benzerlik analizlerinin daha büyük ve temsil gücü yüksek veri setleri üzerinde yürütülmesi önem taşımaktadır. Ayrıca 3D gıda baskısı, dijital lezzet tasarımı ve akıllı üretim teknolojilerini içeren Gastronomi 4.0 odaklı çalışmaların disiplinlerarası iş birlikleriyle desteklenmesi hem endüstriyel süreçlerde hem de akademik araştırmalarda yenilikçi uygulamaların ortaya çıkmasına katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, VR ve AR tabanlı duyu analizi yöntemlerinin yaygınlaştırılması, tüketici davranışlarının ve lezzet deneyiminin çok boyutlu yapısının daha derinlikli biçimde incelenmesine olanak sunacaktır. Gelecekte benzer araştırmalar yürütecek akademisyenlere, yalnızca Web of Science veri tabanına değil; Scopus, PubMed ve Dimensions gibi farklı uluslararası veri tabanlarına da başvurarak daha kapsamlı bir literatür ağı oluşturulması önerilmektedir. Bibliyometrik bulguların deneysel çalışmalarla bütünleştirilmesi ise, Gastronomi 4.0 teknolojilerinin food pairing

süreçlerine entegrasyonunun gerçek mutfak uygulamalarındaki etkilerini karşılaştırmalı biçimde değerlendirme imkânı sunacaktır. Son olarak, aroma kimyası, duyu analizi ve hesaplamalı gastronomi disiplinlerinin kesişiminde yürütülecek çok merkezli araştırmaların teşvik edilmesi, alanın teorik ve uygulamalı gelişimini önemli ölçüde güçlendirecektir.

Kaynakça

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Chacko, A., Wang, Y., Reineccius, G., & Wang, T. (2023). Machine learning models for predicting odor characters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(32), 11936–11947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02871>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- Fritz, M., Kou, X., Shi, P., Gao, C., Ma, P., & Zhang, D. (2023). Data-driven elucidation of flavor chemistry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(3), 1234–1248. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08345>
- Guo, C., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Model building and slicing in food 3D printing processes: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2011–2035.
- Guo, C., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Model building and slicing in food 3D printing processes: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2011–2035. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12417>
- Hajmeer, M. N., Basheer, I. A., & Najjar, Y. M. (1997). Computational neural networks for predictive microbiology II: Application to microbial growth. *International Journal of Food Microbiology*, 34(1), 51–66.
- Hertafeld, E., Zhang, C., Jin, Z., Jakub, A., Russell, K., Lakehal, Y., Andreyeva, K., Bangalore, S. N., Mezquita, J., Blutinger, J., & Lipson, H. (2019). 3D printing and additive manufacturing: Multi-material FLM with simultaneous IR cooking. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 6(4), 1–15.
- Jain, A., Rakhi, N. K., & Bagler, G. (2015). Analysis of food pairing in regional cuisines of India. *PLOS ONE*, 10(10), e0139539.
- Kou, X., Shi, P., Gao, C., Ma, P., Xing, H., Huadong, H., & Zhang, D. (2023). Data-driven elucidation of flavor chemistry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(3), 1234–1248.
- Newsome, R. (2009). Development of a risk-ranking framework to evaluate potential high-threat microorganisms, toxins, and chemicals in food. *Journal of Food Science*, 74(5), R39–R45.
- Rodgers, S. (2016). Minimally processed functional foods: Technological and operational pathways. *Journal of Food Science*, 81(10), R2268–R2278.

Tseng, Y. J., Chuang, P. J., & Appell, M. (2023). When machine learning and deep learning come to the big data in food chemistry. *ACS Omega*, 8(4), 3765–3780.

Varvara, R. A., Szabo, K., & Vodnar, D. C. (2021). 3D food printing: Principles of obtaining digitally-designed nourishment. *Nutrients*, 13(11), 3617.

Yu, P., Low, M. Y., & Zhou, W. (2018). Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 202–215.