

Nörogastronomi: Tat ve Koku Algısının Nörobilimsel Temelleri

Aslı Muslu Can¹

Ayşen Develioğlu Arslan²

Özet

Nörogastronomi, sinirbilim, duyuşal bilim ve gastronomi arasında köprü kuran yeni bir disiplinlerarası alan olup, beynin lezzetin duyuşal deneyimini nasıl oluşturduğunu açıklamayı amaçlamaktadır. Bu kitap bölümünde, tat ve koku algısının sinirsel temelleri incelenerek, bunların tek bir lezzet algısına entegrasyonu vurgulanmaktadır. Tat iletimi, temel tat özelliklerini kodlayan dildeki özel reseptörlerle başlar. Bu reseptörler, kraniyal sinirler aracılığıyla soliter traktus çekirdeğine ve ardından insular ve orbitofrontal korteksler dahil olmak üzere daha yüksek kortikal bölgelere iletilir. Koku epitelinde koku maddelerinin bağlanmasıyla başlayan koku algısı, koku bezi, piriform korteks, amigdala ve hipokampal ağlar üzerinden paralel ancak etkileşimli bir yol izler. Bu bölüm, tat, koku, somatosensoriyel ve hatta görsel ipuçlarının bir araya gelerek bilinçli lezzet deneyimini oluşturduğu birincil sinirsel substrat olarak orbitofrontal korteks içindeki uyumlu işlemeyi vurgulamaktadır. Beyin görüntüleme, nörobilişsel modelleme ve kimyasal algılama alanındaki son gelişmeler, tat algısının sadece uyaran özellikleri tarafından değil, aynı zamanda hafıza, beklenti ve duyuşal bağlam tarafından da şekillendirildiğini ortaya koymaktadır. Bu bölüm, nörobiyoloji, bilişsel sinirbilim ve gıda bilimi alanlarından elde edilen güncel kanıtları sentezleyerek, beynin yemek yeme sırasında kimyasal, mekanik ve görsel sinyalleri nasıl yorumladığını anlamak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Genel olarak, bu bölüm nörogastronominin duyuşal sistemler ile beyin arasındaki karmaşık etkileşim üzerine gelecekteki araştırmalar için bir temel sunmaktadır.

1 Dr. Öğr., Biruni Üniversitesi, acan@biruni.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3406-5921

2 Dr. Öğr. Üyesi, İstinye Üniversitesi, aysen.arslan@istinye.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7823-9394

1. Giriş

1.1. Nörogastronominin Tanımı ve Kapsamı

Nörogastronomi, gastronomi ve nöroloji arasında bağlantılar kurmak için çeşitli araştırma çalışmalarını bir araya getiren yeni bir alan olarak ortaya çıkmaktadır. Nörogastronomi ve gastronomi arasındaki karmaşık ilişki, gıda ile olan ilişkimizi daha derinlemesine incelemek için incelikli ve çok yönlü bir çerçeve sunmaktadır. Bu nispeten yeni disiplin, nörobilim, psikoloji ve gastronomi unsurlarını sorunsuz bir şekilde birleştirerek, gıda deneyimi ve zevkini çevreleyen karmaşıklıkları çözmeye çalışmaktadır. Nörogastronomi, özünde beyin ve gıda arasındaki karmaşık etkileşimleri araştırır. Bireylerin tat, koku ve diğer duyuşal deneyimleri algılama biçimlerini inceleyerek, bu algıların gıda tercihleri üzerindeki derin etkilerini deşifre etmeyi amaçlar. Bu disiplinlerarası bakış açısıyla nörogastronomi, nörolojik süreçler ile gastronomik deneyimlerin keyfi arasındaki karmaşık etkileşimi daha iyi anlamamızı sağlamaya çalışır [1].

1.2. Tarihsel Gelişim ve Bilimsel Temeller

Nörogastronomi, eski Yunanlılar tarafından iyi beslenme ve iyi yaşam anlamında ilk kez kullanılan ve 19. yüzyılın başlarında Fransa’da popüler hale gelen eski terim olan gastronomi üzerine kuruludur ve beyni temsil etmek için nöro kelimesini ekler [2].

“Nörogastronomi” terimi, 2006 yılında Yale Tıp Fakültesi’nde nörobiyoloji profesörü olan Gordon M. Shepherd tarafından ortaya atılmıştır. Shepherd, kokuların belirli tatların oluşumunda oynadığı önemli rolü fark ederek bu terimi ilk kez 2006 yılında kullanmıştır. Aynı yıl Shepherd, Nature dergisinde kokunun moleküler biyolojisi, koku reseptörleri, gıda hazırlamanın biyokimyası ve bunların beyin tarafından işlenmesi gibi konuları ele alan bir makale yazmıştır. Bu yayın, kokunun moleküler biyolojisi, koku reseptörleri, gıda hazırlamanın biyokimyası ve bunların beyin tarafından işlenmesi gibi konuları ele almıştır. Bu yayın, nörogastronominin temel ilkelerini aydınlatmış ve alanın temel odak noktalarını özetlemiştir [1, 3].

Nörogastronomi alanında beynin işlevi, klinik nörogastronomi ile nörogastronomiye dair engeller gibi başlıklar, Dan Han, Gordon Shepherd, Fred Morin ve Charles Spens gibi isimlerce ele alınmıştır. Bir nörobilimci, bir yemek uzmanı, bir aşçı, bir gıda bilimcisi ve bir tarım bilim adamı bir araya geldiği bu topluluk beynin işlevi, klinik nörogastronomi ile nörogastronomiye dair engelleri tartışmıştır. Nörogastronomi kavramı, birçok mutfak şefine, nörolog, davranışsal psikoloji uzmanlarına ve biyokimyacıya, gıdaları tüketme

esnasında duyuların beyni nasıl harekete geçirdiği ve iletilen bilgilerin, besinleri algılanmasında nasıl kullanılabileceği konusunda çalışma alanı sağlamaktadır [4, 5].

1.3. Tat-Koku Algısının Nörobilim ile İlişkisi

Lezzet, genel refah için çok önemli olan hem fiziksel sağlık hem de zihinsel iyilik hali üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hem tüketimden önce hem de sonra diyet seçimlerini, tercihleri, lezzeti ve günlük tüketim kararlarını etkiler. Lezzet, tat, koku ve dokudan oluşan çok duyulu bir deneyimdir. Tat, tat reseptör hücreleri tarafından algılanan beş temel duyunun algılanmasını içerir: umami, ekşilik, tatlılık, acılık ve tuzluluk [6, 7]. Ayrıca, kokuların algılanması yoluyla, koku alma sistemimizden gelen koku alma duyumuz, farklı kokuları algılayıp tanımlamasını düzenler. Lezzet algısı, genel yeme deneyimimizi geliştiren aromalarla birlikte tadın her iki yönünü de birleştirdiği için bu duyuma bağlıdır [8]. Ayrıca doku, dokunma, işitme, görme ve kinestetik yoluyla algılanan gıdaların işlevsel ve duysal özelliklerini ifade eder ve yapısal bileşimleri hakkında bilgi sağlar [6]. Lezzet algısı, tat tomurcuklarımızdan, burnumuzdan ve ağzımızdan gelen sinyallerin beyinde, özellikle de tat korteksi ve orbitofrontal korteks gibi bölgelerde birlikte işlenmesiyle oluşur ve eksiksiz bir lezzet deneyimiyle sonuçlanır. Bununla birlikte, lezzet algısını etkileyen koku-tat etkileşimlerinin arkasındaki moleküler mekanizmalar henüz net değildir [9].

Mastinu ve arkadaşlarına göre, tat ve koku uyaranları fizyolojik tepkileri tetikler ve bu da yiyeceklerle verilen duygusal tepkileri etkiler. Bu duygusal tepkiler hazdan tiksinnmeye kadar değişebilir ve doğrudan yiyecek tercihlerini ve yeme davranışlarını etkiler. Olumlu duygular belirli bir yiyeceği yeme arzusunu artırma eğilimindeyken, olumsuz duygular ondan kaçınmaya yol açabilir [6, 10].

Örneğin, vücudumuz tat değişikliklerine kalp atış hızı ve terleme gibi fizyolojik sinyallerle yanıt verir ve bu da bir yiyeceği beğenip beğenmediğimizi gösterir. Bu tepkiler, belirli tatların neden hoş olarak algılandığını ve belirli bir yemeği tüketme tercihimizi nasıl etkilediğini açıklamaya yardımcı olur [6, 11]. Bu duysal girdiler, özellikle tat korteksi ve orbitofrontal kortekste beyne entegre edilir ve sonuç olarak tat algısını düzenler ve yiyecek seçimlerini ve yeme davranışlarını etkiler [6]. Nöral düzeydeki tat hem enerji dengesini hem de ödül algılarını etkiler. Örneğin, tatlı tadı veren bileşen olan glikoz, hipotalamik ve ventral tegmental bölgedeki nöronları, meyveli bir tat veren bir bileşik olan etil-bütirattan daha güçlü bir şekilde aktive eder. Bu aktivasyon, açlık, enerji düzenlemesi ve yemekle ilişkili zevk duygularımızı düzenler [12].

2. Tat ve Koku Algısının Anatomik Temelleri

2.1. Tat Reseptörleri ve Tat Tomurcukları

Tat algısı, kimyasal uyarıcılar ile tat tomurcukları olarak bilinen özel duyu yapıları arasındaki etkileşimle başlar. Tat tomurcukları çoğunlukla dil üzerinde bulunur, ancak yumuşak damak, epiglot ve üst yemek borusunda da bulunur. Her tat tomurcuğu, tat reseptör hücreleri, destek hücreleri ve bazal progenitör hücreleri dahil olmak üzere yaklaşık 50 ila 100 hücreden oluşan kompakt bir duyu organıdır. Bu hücreler, epitel öncü hücrelerinden sürekli olarak yenilenir ve tat tomurcuklarını sinir dokusundan türetilen diğer birçok duyu sisteminden ayırır [13]. Her tomurcukta, reseptör hücreleri tat poru aracılığıyla mikrovillileri uzatır, burada ağız ortamına maruz kalırlar ve tükürükte çözünmüş tat maddeleriyle doğrudan temas ederler [14]. Tat tomurcukları, morfolojik ve fonksiyonel olarak farklılık gösteren birçok türde özel reseptör hücresi içerir. Tip I hücreler, glial hücrelere benzer yapıdadır, diğer hücreleri sarar ve hücre dışı ATP'yi parçalayan NTPDase2 gibi enzimleri ifade eder, böylece tomurcuk içindeki hücreler arası sinyalleşmeyi düzenler. Tip II hücreler, tatlı, umami ve acı bileşikler algılamaktan sorumlu G proteinine bağlı reseptörleri (GPCR'ler) ifade eder. Ligand bağlanmasının ardından, bu reseptörler fosfolipaz C β 2 (PLC β 2), inositol trifosfat (IP $_3$) ve TRPM5 kanalının kalsiyum bağımlı aktivasyonunu içeren hücre içi yolları aktive eder. Klasik nöronların aksine, tip II hücreler sinaptik bağlantılar oluşturmaz; bunun yerine, CALHM1 kanalları aracılığıyla ATP salgılayarak komşu tat sinir liflerini uyarırlar [13, 14]. Bu hücreler duysal algılayıcılarla geleneksel sinapslar oluşturur ve veziküler ekzositoz yoluyla serotonin gibi nörotransmitterleri salgılar [15]. Moleküler düzeyde, tat reseptör aileleri genel olarak iki kategoriye ayrılabilir: GPCR'ler ve iyon kanalları. TAS1R ve TAS2R reseptör aileleri tatlı, umami ve acı tatların algılanmasını sağlar. Örneğin, alıcı TAS1R2/TAS1R3 tatlı bileşiklerin alıcısı olarak işlev görürken, TAS1R1/TAS1R3 umami tadından sorumlu amino asitleri algılar. Acı bileşikler, insanlarda yaklaşık 25 fonksiyonel geni içeren oldukça çeşitli TAS2R ailesi tarafından tanınır. Bu reseptörlerin aktivasyonu, ATP salınımı ve duysal sinir aktivasyonu ile sonuçlanan hücre içi kalsiyum sinyal basamaklarını tetikler [16]. Buna karşılık, tuzlu ve ekşi tatlar, sodyum veya hidrojen iyonlarının doğrudan geçişine izin veren ve membran depolarizasyonuna yol açan iyon kanalları tarafından aracılık edilir. Epitel sodyum kanalı (ENaC), düşük tuz konsantrasyonlarının algılanmasında rol oynarken, ekşi tat ise tip III hücrelerdeki proton duyarlı kanallara bağlıdır [14]. Bu sinyallerin sinirsel aktiviteye dönüştürülmesi, ATP veya klasik nörotransmitterlerin tat alma sinir uçlarındaki pürinerjik veya serotonerjik reseptörleri aktive ederek beyin

sapındaki soliter traktus çekirdeğine bilgi iletilmesiyle gerçekleşir. Buradan tat sinyalleri, talamus ve insular korteks dahil olmak üzere daha yüksek kortikal bölgelere yansıtılır ve burada koku ve somata duyuusal bilgilerle birleşerek çok boyutlu lezzet algısını oluşturur [15].

2.3. Tat ve Koku Sinirlerinin Yapısı

Tat ve koku algısı, periferik reseptör hücrelerinden beyine kemosensör bilgileri ileten özel kraniyal sinirlere dayanır. Tat alma sisteminde, tat bilgisi esas olarak üç kraniyal sinir tarafından taşınır: yüz siniri (kraniyal sinir VII), gırtlak-dil siniri (kraniyal sinir IX) ve vagus siniri (kraniyal sinir X). Her sinir, ağız boşluğunun farklı bölgelerinde bulunan tat tomurcuklarını besler [13].

Bu duyu nöronlarının aksonları, birincil tat alma rölesi görevi gören medulla oblongata'daki soliter traktus çekirdeğine (NST) merkezi olarak uzanır. NST'den ikincil nöronlar talamusa (ventral posteromedial çekirdek) ve ardından anterior insula ve frontal operkulumda bulunan tat korteksine uzanır. Bu hiyerarşik organizasyon, tat duyusunun koku ve somata duyuusal ipuçları dahil olmak üzere diğer duyuusal girdilerle entegrasyonunu sağlayarak lezzetin bütünsel algılanmasına katkıda bulunmaktadır [15]. Buna karşılık, koku alma sistemi, burun boşluğunun koku alma epitelinde bulunan reseptör nöronlarının, miyelinsiz aksonlarını cribriform plakadan geçirerek koku alma sinirini (kraniyal sinir I) oluşturdukları farklı bir yol kullanır. Bu aksonlar, koku alma bezinde sinaps oluşturur ve burada, her biri belirli koku reseptörü tiplerine karşılık gelen glomeruli adı verilen küresel yapılarda birleşir. Koku alma bezindeki mitral ve tüylü hücreler daha sonra piriform korteks, amigdala ve orbitofrontal korteks dahil olmak üzere daha yüksek kortikal bölgelere uzanır ve burada koku bilgisi işlenir ve duygu ve hafıza ile ilişkilendirilir [17].

Tat ve koku sinirleri birlikte, beyinde birleşerek karmaşık ve çok duyulu bir lezzet deneyimi sunan tamamlayıcı duyu sistemleri oluştururlar. Bu, nörogastronomi biliminin temel odak noktasıdır [18].

3. Tat Algısının Nörobiyolojisi

3.1. Tat Kaliteleri (Tatlı, Tuzlu, Ekşi, Acı, Umami vb.)

İnsanlarda tat algısı genellikle beş temel özellik ile karakterize edilir: tatlı, tuzlu, ekşi, acı ve umami (lezzetli)[19].

Bu tat özelliklerinin her biri, farklı besin veya koruyucu öneme sahiptir: tatlılık genellikle karbonhidratları ve hızlı enerji kaynaklarını gösterir; tuzluluk, elektrolit dengesinin korunması için gerekli olan sodyum iyonlarını yansıtır; ekşilik genellikle asitliği veya bozulma olasılığını gösterir; acı, toksinler için bir

uyarı görev görebilir; ve daha yakın zamanda tanınan umami, amino asitler ve protein açısından zengin gıdalarla ilişkilidir [20].

Moleküler düzeyde, tatlı, acı ve umami tatlar büyük ölçüde tat tomurcukları içindeki tat reseptör hücrelerinde bulunan G proteinine bağlı reseptörler (GPCR'ler) tarafından aracılık edilirken, tuzlu ve ekşi tatlar daha doğrudan iyon kanalı mekanizmalarına (tuzlu için sodyum akışı, ekşi için hidrojen/proton duyarlı kanallar gibi) dayanır. Evrimsel bir bakış açısıyla, çekici tatlar (tatlı, umami, az tuzlu) yararlı besinlerin tüketimini teşvik ederken, itici tatlar (acı, aşırı ekşi, tuzlu) zararlı veya aşırı maddelerin alımını engelleyebilir [20].

Özellikle, umami tadının sadece lezzetin ötesinde önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir: örneğin, yaşlı bireylerde umami duyarlılığının bozulması, iştah azalması, besin alımının düşmesi ve genel sağlık durumunun kötüleşmesi ile ilişkilendirilmiştir [21].

3.2. Tat Sinyalinin İletim Mekanizması

Tat sinyal iletimi, tükürükte çözünen kimyasal tat maddeleri tat tomurcuklarındaki özel reseptör hücrelerinin mikrovillileriyle temas ettiğinde başlar. Bu reseptör hücreleri öncelikle tip II ve tip III hücreler farklı moleküler reseptör setleri ve aşağı akış sinyal mekanizmalarını ifade ederler [14].

Ekşi tat için, reseptör hücreleri (öncelikle tip III) iyon kanalı aracılı mekanizmalara dayanır: OTOPI kanalı yoluyla proton (H^+) girişi, ATP kanalı-sinaps yolundan ziyade depolarizasyona, aksiyon potansiyeli oluşumuna ve klasik veziküler nörotransmitter salınımına (Örn. serotonin) yol açar [22]. Tuzlu tat, belirli reseptör hücrelerinde epitel sodyum kanalları (ENaC) tarafından aracılık edilen amilorid duyarlı bir bileşene ve yüksek tuz konsantrasyonlarında acı veya ekşi yolları harekete geçirebilen amilorid duyarsız bir bileşene sahiptir. Tuz reseptör hücreleri için sinyal iletimi, kanonik olmayan bir “kanal sinapsı”nda CALHM1/3 kanallarını da içerir [23].

4. Koku Algısının Nörobiyolojisi

Koku algısı, organizmaların çevrelerindeki kimyasal sinyalleri algılamasını ve yorumlamasını sağlayan karmaşık bir duyuşal süreçtir. Bu sistemin merkezinde, burun boşluğunda bulunan ve özel koku reseptör nöronları (ORN) içeren koku epitelinde yer alır. Bu nöronlar, her biri belirli koku moleküllerini algılamak için ayarlanmış çeşitli G-protein-bağlı reseptörleri (GPCR) ifade eder. İnsanlar, çok çeşitli kokuları ayırt etmeyi sağlayan yaklaşık 400 işlevsel koku reseptörü genine sahiptir [24]. Koku molekülleri reseptörlere bağlandığında, ORN'ler öncelikle halkasal adenosin monofosfat (cAMP) aracılığıyla hücre içi sinyal kaskadlarını başlatır. Bu, iyon kanallarının

açılmasına ve kimyasal bilgileri beynin koku alma lobuna ileten aksiyon potansiyellerinin oluşmasına yol açar. Koku bezinde, ORN'lerin aksonları, her biri belirli reseptör tiplerini temsil eden glomeruli adı verilen yapılarda birleşir. Bu uzamsal organizasyon, koku kimliğini koruyan bir “glomerüler harita” oluşturur [25, 26].

Koku alma bezinden, mitral ve tüylü hücreler sinyalleri piriform korteks, orbitofrontal korteks, amigdala ve hipokampus gibi daha yüksek beyin bölgelerine iletir. Bu bölgeler koku girdisini hafıza ve duygusal bağlamla bütünleştirir, bu da kokuların neden genellikle canlı anıları ve duygusal tepkileri uyandırdığını açıklar [27].

Koku işleme, solunum ritimleriyle yakından bağlantılıdır, çünkü koklama zamanlaması, koku alma bezindeki nöronal salınımları ve zamansal kodlamayı düzenleyerek koku ayırımını geliştirir. Ayrıca, koku alma sistemi, reseptör nöronlarının sürekli yenilenmesi ve değişen koku ortamlarına uyum sağlama yeteneği ile dikkat çekici bir plastisite sergiler [28].

4.4. Koku Hafızası ve Duygusal Bağlantılar

Koku hafızası, koku sistemi ile beynin limbik yapıları, özellikle amigdala ve hipokampus arasındaki doğrudan sinir bağlantıları nedeniyle benzersiz bir güce sahiptir. Diğer duyuların çoğundan farklı olarak, koku sinyalleri talamusu atlayarak duyu ve hafıza ile ilgili bu bölgelere hızla ulaşır. Bu, kokuların genellikle canlı ve duygusal açıdan zengin anıları tetiklemesinin temel nedenidir [29]. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) kullanılarak yapılan araştırmalar, koku tanıma hafızasının hipokampus ve posterior singulat dahil bir ağını devreye soktuğunu göstermiştir, ancak şaşırtıcı bir şekilde, amigdala ve piriform korteks gibi belirli yapılar, insanlar tanıdık kokuları doğru bir şekilde tanıdıklarında sinirsel bastırma sergilemektedir [30]. Başka bir çalışma, koku ile ilgili korku şartlandırmasının etkilerini araştırmış ve korku ile ilişkili bir kokuyu hatırlamanın, amigdala, piriform korteks, hipokampus ve koku soğanında pCREB ve pMAPK gibi plastisite belirteçlerinin ekspresyonunda artışa yol açtığını göstermiştir [31]. Koku bezindeki nörojenез de bu süreçte rol oynar. Yakın zamanda yayınlanan bir makalede, koku bezinde yeni üretilen nöronların hipokampus ve amigdalaya uzanan devrelere entegre olduğu ve bu nöronların korku hafızasının düzenlenmesinde rol oynadığı ortaya konmuştur [32]. Önemli olarak, koku kaybı (örneğin yaşlanma ile birlikte) limbik bölgelerdeki yapısal bozulma ile ilişkilidir. Yakın zamanda yapılan bir nörogörüntüleme çalışması, yaşlılarda koku duyusunun azalmasının hipokampustaki gri madde kaybını öngördüğünü göstererek koku alma fonksiyonu, hafıza ve beyin sağlığı arasındaki sıkı bağı vurgulamıştır [33].

Ayrıca, yaşlı bireylerde yapılan fMRI çalışmaları, amigdalanın koku tanıma sürecinde orbitofrontal korteks, parahipokampal girus ve hipokampus ile birlikte çalışarak telafi edici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır [34]. Son olarak, koku alma duyusu sadece içsel anıları uyandırmakla kalmaz, aynı zamanda insanlar arasında beyin aktivitesini senkronize eder. Yakın zamanda yapılan başka bir araştırma, katılımcıların kokulara maruz kalırken duygusal filmler izlediklerinde, kokuya maruz kalmanın, özellikle sosyal ve duygusal işlemeye bağlantılı bölgelerde, denekler arası beyin aktivitesinin senkronizasyonunu artırdığını ortaya koymuştur [35].

5. Tat ve Koku Entegrasyonu

5.1. Beyinde Tat-Koku Bütünleşmesi

Genellikle lezzet entegrasyonu olarak adlandırılan tat-koku entegrasyonu, beynin tat ve koku girdilerini nasıl tek bir algısal deneyime dönüştürdüğünü açıklayan nörogastronominin temel ilkelerinden biridir. Tat (tatlı, tuzlu, ekşi, acı, umami) dilin reseptör hücrelerinden, koku ise koku epitelindeki koku reseptörlerinden kaynaklanırken, lezzetin öznel deneyimi ancak bu sinyaller beynin çok duyuşal bölgelerinde birleştiğinde ortaya çıkar. Bu entegrasyon, insanların yiyecekleri tanımlamasına, besin değerini değerlendirmesine ve duygusal ve hafıza temelli yiyecek ilişkilendirmeleri oluşturmaya olanak tanır. Tat alma sinyalleri, tat maddeleri tat tomurcukları içindeki reseptör hücrelerini aktive ettiğinde başlar. Bu hücreler, VII, IX ve X kranial sinirler aracılığıyla sinirsel tepkileri beyin sapındaki soliter traktus çekirdeğine (NST) iletir. NST'den tat bilgisi, talamusun ventral posterior medial çekirdeğine ve ardından birincil tat alma korteksine (anterior insula ve frontal operculum) iletilir [36].

Buna paralel olarak, koku molekülleri özellikle çiğneme ve yutma sırasında ortaya çıkan retronazal kokular burun epitelindeki koku reseptör nöronlarını aktive eder. Bu sinyaller doğrudan koku soğanına ve ardından piriform korteks, amigdala ve entorinal korteks gibi birincil koku korteks bölgelerine iletilir.

Lezzetin gerçek yapısı, tat ve koku sinyallerinin yüksek kortikal alanlarda birleştiği zaman ortaya çıkar. Nörogörüntüleme ve elektrofizyoloji çalışmaları, insula, piriform korteks ve özellikle orbitofrontal korteks (OFC) alanlarını lezzet entegrasyonunun ana merkezleri olarak tutarlı bir şekilde vurgulamaktadır [37].

Geleneksel olarak tamamen koku ile ilgili olduğu düşünülen piriform korteks, çapraz modal lezzet kodlamasına katılır. Koku-tat karışımları, doğrusal olmayan ve karışıma özgü aktivite modellerini tetikler ve lezzetin,

bileşenlerinin toplamı değil, benzersiz bir duyuşsal varlık olarak temsil edildiği görüşünü destekler [38].

OFC, duyuşsal bilgileri ödül değeri, beklentiler ve bağlamla bütünleştirir. Tat ve koku sinyallerinin, gıdaların hedonik değerini (“lezzet”) temsil eden tek bir algıya dönüştüğü ilk bölgedir [39].

5.2. Tekstür, Sıcaklık ve Görselliğin Rolü

5.2.1. Tekstür

Lezzet algısı sadece tat ve kokudan değil, aynı zamanda doku (ağızda bıraktığı his), sıcaklık ve görsel sunum gibi ek duyuşsal boyutlardan da kaynaklanır. Bu kimyasal olmayan ipuçları, lezzet yoğunluğunu, lezzetini, kimliğini ve hatta hafıza ilişkilerini etkileyerek, yiyecekleri nasıl deneyimlediğimizi önemli ölçüde şekillendirir [40].

Çok duyuşsal bir boyut olarak tekstür; Viskozite, kremi yapı, gevreklik, pürüzsüzlük veya erime gibi gıdaların dokunsal özellikleri, tat ve koku duyularıyla etkileşime girerek genel lezzet algısına katkıda bulunur [40]. Doku ve lezzetin merkezi entegrasyonu: Nörofizyolojik ve psikofiziksel çalışmalara göre, doku ipuçları sadece tadı çevresel olarak modüle etmekle kalmaz; daha ziyade, doku ve tat (ve bazen koku) insular korteks, orbitofrontal korteks, somatosensoriyel korteks ve hatta piriform korteks gibi beyin bölgelerinde merkezi olarak entegre edilir [41].

Viskozitenin artırılması veya dokunun değiştirilmesi, tat yoğunluğu derecelendirmelerini veya lezzet tercihlerini doğrusal olmayan bir şekilde değiştirebilir. Örneğin, daha kalın veya daha kremi dokular bazı gıdaların lezzetini artırabilir, ancak bağlama bağlı olarak diğerlerinin tat yoğunluğunu azaltabilir [41].

5.2.2. Sıcaklık

Sıcaklık, tadı ve ağız hissini etkiler: Deneyler hem yiyeceğin sıcaklığının hem de ağız boşluğunun tat ve dokunun algılanışını etkilediğini göstermektedir. Örneğin, yarı katı gıdalarda (örneğin, muhallebi veya mayonez), ürünün sıcaklığının artması, ağızda erime hissi ve yağlılık hissini artmasına, lezzet yoğunluğunun ve algılanan kalınlığın değişmesine neden olmuştur [42].

Sıcaklık, tat adaptasyonu ve dinamiklerini etkilemektedir. İnsan psikofiziksel çalışmaları, sıcaklığın tatlılığa (örneğin şeker) adaptasyon oranını etkilediğini ve belirli tat maddeleri (örneğin MSG) için ağız hareketleri ile sıcaklığın birlikte lezzetli tat yoğunluğunu modüle ettiğini göstermektedir.

Bu da sıcaklık, mekanik duyu ve tat alma duyularının birbiriyle etkileşimde olduğunu düşündürmektedir [43].

Sıcaklık, gıdanın fiziksel özelliklerini (erime, viskozite) değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda aroma bileşiklerinin uçuculuğunu da değiştirerek retronazal aroma salınımına yardımcı olur ve böylece koku duyusunun tada katkısını etkiler. Tetikleyici sinir sistemi (sıcaklık, ağrı, tahrişi algılama) çok duyulu entegrasyonun bir parçası olarak ağız hissi ve tat algısına katkıda bulunur [40].

5.2.3. Görsel İpuçları (Renk, Şekil, Görünüm) ve Etkileri

Lezzet beklentilerini şekillendiren baskın duyu olarak görme; insanlar görsel bilgilere büyük ölçüde güvendikleri için, yiyeceklerin görünümü (rengi, şekli, sunumu, porsiyon büyüklüğü, kabı) lezzet beklentilerimizi etkileyebilir ve bu beklenti de gerçek lezzet algımızı değiştirir [44].

52 çalışmayı kapsayan bir çalışmada (2023), birçok koşulda görsel ipuçlarının (özellikle renk ve şekil) tat/lezzet algısını (örneğin tatlılık, tuzluluk, lezzet kimliği) önemli ölçüde değiştirdiği sonucuna varmıştır [44].

Görsel + koku + tat entegrasyonu lezzet tanımlamasını geliştirmektedir. Artırılmış gerçeklik lezzet haritalama kullanılarak yapılan deneysel bir çalışma, koku ve görme duyularının birleştirilmesinin, sadece görme veya sadece koku duyularının kullanılmasına kıyasla lezzet tanıma doğruluğunu artırdığını ortaya koymuştur. Bu da, görsel ipuçlarının lezzet oluşumunda koku/tat sinyallerini güçlendirdiğini veya belirsizliklerini ortadan kaldırdığını göstermektedir [45].

Görsel ipuçları, beklentiler oluşturarak (önceki deneyimlere ve öğrenilen ilişkilere dayalı olarak) ve bağlam sağlayarak lezzeti etkiler — bu yukarıdan aşağıya doğru süreçler, aşağıdan yukarıya doğru duyuusal sinyallerin (tat, koku, doku) nasıl ağırlıklandırılacağını ve birleştirileceğini düzenler [46].

5.2.4. Sinirsel ve Teorik Çerçeve: Bütünleşik Algi Olarak Çok Duyusal Lezzet

Çok duyulu lezzet entegrasyonunda rol oynayan beyin bölgeleri arasında insula (tat alma korteksi + somatosensoriyel entegrasyon), orbitofrontal korteks (değerlendirme ve ödül), somatosensoriyel korteks (doku/sıcaklık) ve piriform korteks (koku alma + çapraz modal etkileşimler) bulunur. Teorik modeller, beynin güvenilirlik ağırlıklı entegrasyon gerçekleştirdiğini öne sürmektedir: her duyuusal ipucuya (tat, koku, doku, sıcaklık, görme) güvenilirliği ve bağlamına göre bir ağırlık atanır ve nihai lezzet algısı,

ipuçlarının optimal bir kombinasyonunu yansıtır. Nöro-hesaplamalı ayrıntılar büyük ölçüde araştırma aşamasında olsa da, psikofiziksel kanıtlar bu görüşü desteklemektedir [41].

6. Tat ve Koku Algısını Etkileyen Faktörler

Genel anlamda duyuşsal algılama veya duyuşsal deneyim olarak nitelendirilen beş duyu organının önemli bir parçası olan tat ve koku birçok faktörden etkilenmektedir [47]. Bir gıdanın lezzetini, tat ve koku girdilerinin sinirsel entegrasyonunu olarak tanımlayabiliriz [48]. Lezzet tek başına tatla ilişkilendirilmemesi gereken bir tanımdır. Lezzet algısı, kişinin duyu organlarının hayatı süresince topladığı veriler sonucunda o gıda hakkında bir dizi deneyimsel yargı oluşturmasının ürünüdür [4]. Başka bir ifade ile sadece tat reseptörlerine göre değerlendirilemez. Koku gibi duyuşsal organlarla iş birliği içindedir. Araştırmacılar lezzeti oluşturan duyunun tat ve retronazal koku olduğu noktasında hemfikirdirler [49]. Koku oronazal (nefes aldığımızda) ve retronazal (yutduğumuzdaki temas/nefes verdiğimizde) gıdaları deneyimlemedeki rolü büyüktür [50]. Tat olarak algıladığımız şeyin yaklaşık %80'inin burundaki koku alma reseptörleri tarafından aktarılan bilgidir kaynaklanmaktadır [51]. Bir çalışmada, elmalar ve soğanlar küçük küpler halinde kesilmiş, katılımcıların gözleri kapatılmış, burunları tıkalı halde ağızları bir örneği almaları istenmiştir Daha sonra katılımcılardan küpü emmeleri istenmiştir. Burun tıkalı olduğunda ne yedikleri anlaşılmamış ama burun açıldığında ağızda elma mı yoksa soğan mı olduğu doğru bir şekilde belirtilmiştir. Tat ile koku duyusu birlikte hareket ettiğinde yüz milyonlarca farklı koku alma uyarıları algılanmaktadır. Yani burun ve ağız birlikte çalıştığında algı tamamlanmış olmaktadır [49]. Koku ve tat duyuları birbiri ile bağlantılı olduğun için hoş kokular iştahı artırırken bir yandan da yemeğin tadına bakmadan karar verilmesini de sağlayabilmektedir [8]. Tat konsantrasyonu artışı, koku algısının arttığı, koku yoğunluğu artışı da tat algısının arttırmaktadır [52]. Literatür çalışmalarında, tat ve koku algısıyla ilişkili prognostik faktörleri olduğu belirtilmiştir [53].

6.1. Yaş, Cinsiyet ve Genetik Değişkenler

Yaşla birlikte koku alma fonksiyonlarının azalması nedeniyle hem koku hem de tat algısında bir kayıp ile bağlantısı bulunmaktadır [54]. Çocuklarda erişkinlerden daha fazla tat tomurcuğu bulunmaktadır [55]. Tat ve koku iştahı ve beslenmeyi yönlendirir, bu sebeple yaşa bağlı duyuşsal gerileme meydana gelebilmektedir. Bu durum gıda tercihlerini zamanla etkileyebilmektedir. Yapılan bir çalışmada yaş ilerledikçe özellikle 70 yaş sonrası tat eşliğinin artmaya başladığını görülmüştür, tat eşliğindeki yaşla birlikte artış, yaşlı

insanların yiyeceklerin tatsız olduğundan sık sık şikâyet etmelerini ve çok tuzlu veya çok tatlı yiyecekler gibi güçlü tadı olan yiyecekleri tercih etme alışkanlıklarını açıklanmıştır. Aynı çalışmada yemeklere kokuyu etkileyecek aromaların ilavesi gıda tercihlerini arttırdığını göstermiştir [56]. Koku alma yeteneği ile ilgili olarak başka bir çalışmada 65 ila 80 yaş arasındaki Amerika Birleşik Devletleri nüfusunun yaklaşık yarısının kanıtlanabilir koku kaybı yaşadığını ve 80 yaş üstü denekler arasında yaklaşık dörtte üçünün böyle bir kayıp yaşadığını görülmüştür [53]. Yaşlılarda tat bozukluğu nedenleri genellikle normal yaşlanma süreci dışında, bazı hastalıklar (örneğin kanser), ilaçlar, cerrahi müdahaleler, yetersiz beslenme ve çevresel maruziyetlerden de kaynaklanabilmektedir [57].

Cinsiyetle bağlantılı olarak bazı tatlara karşı duyarlılığını etkileyebilir. Örneğin, hormon seviyesindeki değişiklik kadınların acı tada karşı duyarlılığını artırabilir [58]. Ayrıca hamile kadınların yaklaşık üçte ikisi koku alma duyularını normalden yüksek ve anormal derecede hassas olduğu belirlenmiş, buna bağlı tat duyularının etkilendiği de bilinmektedir [59]. Kadınlar, erkeklerle kıyasla tuzlu tat algısı daha yüksektir. Erkekler, kadınlara göre daha yüksek konsantrasyonlarda tatlıları tercih etseler de, erkekler ve kadınlar arasında tatlı tatların algılanmasında herhangi bir fark gözlemlenmemiştir [60]. Erkeklerin kadınlara göre daha tatlı limonlu içecekleri tercih ettiklerini gözlemlemiştir. Erkeklerin yüksek şeker içeren çözeltileri kadınlara göre daha hoş bulduklarını bildirmiştir. Genel olarak, erkekler kadınlara göre ekşi tatları tercih ettiği belirtilmiştir [61]. Kadınlar tam tahılları, sebzeleri ve tuzlu yiyecekleri tercih ederken, erkekler daha çok et tüketmiştir. Su ve şekerli içecekler kadınlar arasında daha yaygındır [62].

Tat alma duyusundaki genetik çeşitliliğin gıda alımı üzerindeki etkisi, yiyecek ve içeceklerdeki tatlı, yağlı veya acı bileşenlerin ne kadar algılanabilir olduğuna ve kişisel beslenme tercihlerinde duyuşal faktörlerin diğer faktörlere (sağlık, erişim vb.) göre değerine bağlıdır [63]. Genetik varyasyonların özellikle acı tat üzerine etkisi 1930'lu yıllarda bilinmekteydi. Acı tat reseptörü (TAS2R) en az bilinen 25 gen içermektedir ve bu genlerde meydana gelecek tek bir nükleotid polimorfizmlerde tat farklılığına neden olabilmektedir [64]. Diğer tat çeşitlerine nazaran yüksek miktarda acı reseptörünün bulunması bitkilerin sahip olduğu zehirli maddelerin anlaşılması için evrimsel süreçte gelişim gösterdiği düşünülmektedir [65]. Bireyler arasındaki tat algısında bulunan farklılıklar temelinde tatlı, yağlı ve acı tat reseptörlerindeki varyasyonların oluşturduğu düşünülmektedir [66]. Farklı çalışmalarda genetik faktörlerin çocukların yiyecekleri kabul etmelerinde ana belirleyicilerden biri olduğu belirtilmiştir [67].

6.2. Kültürel ve Psikolojik Etmenler

İnsanın gıdayla bağlı birçok faktörden etkilenmekte olup çağın teknolojik ve sosyoekonomik ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir. İnsan türü, yediği yemeği sosyal normlara, kültüre, inançlara veya geleneklere göre hazırlar [68]. Bütün toplumların tarihsel süreçleri içinde kendi kültür yapısı üzerine kurulmuş bir sofraya kültürü bulunur ve buna bağlı bir damak tadı oluşmaktadır. Damak tadı kültürel ve coğrafi bağlamda değişiklik gösterir. Ailemizden aldığımız yemek kültürü bizi etkilemektedir. Buna bağlı olarak tat ve koku interaksyonu etkilenmektedir [69]. Kültürel farklılıklar tat ve koku algısını etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada Amerikalılar çilek meyvesini tatlı tat ile belirtirken Fransızlar çileği ekşi tat ile ilişkilendirmiştir [70]. Başka bir çalışmada Amerikanlıların Japonlara kıyasla sakkaroz ve monosodyum glutamatın tadını daha az ayırt ettiği görülmüştür [71].

Psikolojik açıdan değerlendirildiğinde, tat ve koku arasındaki uyum bulunur. Meyve tadını tatlılık veya ekşilikle uyumlandırılır [72]. Psikolojik olarak koku bileşenleri ile algılanan tatlılık başka bir ifade ile koku ile uyarılma tatlı hissine neden olmaktadır. Tatlılık derecelendirmelerinin %60'ının koku bileşenlerinin yarattıkları tat algısıyla tahminlendiği bildirilmiştir [73]. Başka bir açıdan kokunun hayal edilmesiyle tat-koku interaksyonuna etkileri bulunduğu, bir uyarıcı olduğunda hafızada nöral olarak tanımlandığı belirtilmiştir. Böylece kokular kişiye bir yiyeceğin güzel olduğunu düşündürdüğünde yemeğin tadına bakmadan karar verilmesini sağlayabilmektedir [74]. Bir çalışmada öğrencilerin tat ve koku algısı manipüle edildiğinde tadım testlerinde gıdaların farklılıklarını anlayamadıklarını belirtmiştir [75].

6.3. Hastalıklar, İlaçlar, Fizyolojik Durumlar ve Sigara Kullanımı

Bazı hastalıklar ve tedaviler tat ve koku duyularını olumsuz etkileyerek yeme içme motivasyonunu olumsuz etkilemektedir. Genellikle üst solunum yolunu etkileyen viral enfeksiyonların bir semptomu olarak görülür [76]. Tat ve koku kayıpları kalıcı veya geçici olabilmek ve nedenleri virüsler (adenovirüs, rinovirüs, influenza), sinonazal inflamasyon (rinit, rinosinüzit), nörodejeneratif hastalıklar (alzheimer, parkinson), kafa travmaları ve koronavirüslerin sebep olduğu hastalıklar olarak sıralanabilir [77]. Bunun yanında kanser hastalığı ve kemoterapisinin yan etkileri, özellikle tat ve koku değişiklikleriyle ilişkilidir. Bu durum kanser hastasında iştahsızlık ve yemekten alınan zevkin azalması nedeniyle tat alma duyusunun kaybı, yetersiz beslenmesine yol açan ciddi bir sorundur [78]. Bir çalışmada tip 2 diyabet, hipertansiyon ve eşzamanlı hipertansiyon ve diyabet hastalarında tuzlu tat

algısını kademeli NaCl çözeltisi kullanarak karşılaştırmıştır. Tuzlu tat algısı tip 2 diyabet hastalarında bozulduğu belirtilmiştir [79].

İlaçlardan çoğunun da istenmeyen etki olarak tat ve koku duyusunda bozukluğa yol açtığı öne sürülmektedir. Klinik raporlar, ilaç referans kitapları, ilaç ekleri ve klinik çalışmalar, tat duyusunda bozukluğa neden olan 350'den fazla ilaç ve koku duyusunda değişikliğe neden olan 70'in üzerinde ilaç bulunduğunu göstermiştir [80]. Bu durum, kişileri toksik etkenlere maruziyet, depresyon, anoreksi ve kilo kaybına karşı risk altında bırakmaktadır [81]. İlaçlar bağırsaktan emilip sonra ağız boşluğuna taşındıklarında genel dolaşım ile ağızdaki tükürük ile acı tatları uyarmaktadır [82]. Aynı zamanda ağızdan kullanılan ilaç direkt olarak ağız boşluğu üzerindeki reseptörleri de etkilediği için istenmeyen metalik tat oluşabilmektedir [83].

Fizyolojik olarak her birey farklılık gösteren iştah, açlık düzeyi, vücudun boyutu gibi faktörlerde tat ve koku algısı etkileyebilmektedir [47]. Gıdanın ağza alınmasından sonra meydana gelen tükürük salgılama, sıcaklık değişimi, mukoza yapısı, çiğneme ve yutma ile gıdanın matris yapısında değişime neden olarak tat ve koku maddelerinin konsantrasyonunu ve salınım hızını etkilemektedir. Dolayısıyla meydana gelen bu değişimler, lezzet maddelerinin ve uçucu bileşenlerin tat reseptörlerine taşınımını ve difüzyonunu etkileyerek tat reseptörleriyle koku maddelerinin interaksyonu üzerinde [72]. Obezitenin hem duyuşsal hem de hedonik tat alma algısında değişikliklere neden olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Obezite ayrıca dopamin sinyalinin değiştiği belirtilmiştir. Yağ içeriği yüksek besinlerin tüketiminin artmasıyla ağızda yağ asidi eşik değerinde artış meydana gelmektedir. Bunun sonucunda yağ asidi tadına karşı duyarsızlaşma ve sonunda da obeziteye sebep olduğu bildirilmiştir [84]. Kilolu bireylerin normal bireylere kıyasla daha az tat aldığı belirtilmiştir [85].

Sigara kullanımının koku ve tat alma sistemlerini geri dönüşümlü veya kalıcı olabilecek hasarlar meydana getirdiği literatürde belirtilmiştir. Hasarın derecesi, maruz kalma süresine, tütünün konsantrasyonuna ve toksisitesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [86]. Çalışmada sigara içmenin, dozla ilişkili olarak koku alma yeteneği ile olumsuz bir ilişkisi olduğu bulunmuştur. Ayrıca sigara içmeyenlere göre koku alma bozukluğu gösterme olasılığının yaklaşık altı kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [87]. Ayrıca sigaranın dört temel tadı algılama eşliğinin düşürmektedir [88]. Bir başka çalışmada tatlı, tuzlu, ekşi gibi tatların sigara içenler tarafından daha zayıf algılandığı ve dil reseptörlerinin elektriksel uyarana duyarlılığının sigara içmeyenlere göre daha düşük olduğu bildirilmiştir [89].

7. Nörogastronominin Araştırma Yöntemleri

Nörogastronomi, gıdaların algılanmasında duyuların etkinliği özellikle koku ve tat üzerine odaklanmış disiplinler arası bir alandır. Bu bağlamda kullanılan teknikler, insan zevk ve algılarını derinlemesine anlaşılmasına olanak sunar. Literatürdeki nörogastronomi alanındaki araştırmalarda nörobilim uygulamaları, nörogörüntüleme teknikleri, duyuşal testler, psikofiziksel ölçüm yöntemleri ve çeşitli klinik çalışmalar üzerinden değerlendirilmiştir.

Nörobilim, sinir sisteminin incelenmesine dayanan bilimsel bir disiplindir. Nörobilim, sinir sistemini moleküler, hücresel, gelişimsel, işlevsel, matematiksel olmak üzere çeşitli perspektiflerden incelemektedir [90]. Günümüze kullanılan beyin görüntüleme teknikleri üç ana başlık altında sınıflandırılabilir: yapısal, işlevsel ve metaboliktir. Beyin görüntüleme tekniklerini kullanan çalışmalarda karar verme sürecinde insan beyninin görünüşte rasyonel kararların duyuşal beyin tarafından yönlendirildiğini göstermiştir [91]. Çalışmalar tüketicinin kokuya, markaya veya logoya verdiği bir tepki beyin sinyallerindeki değişim ile takip edilmektedir. Araştırmalarda kullanılan fonksiyonel beyin görüntüleme teknikleri; beyindeki metabolik aktiviteleri kaydeden Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRI) ve Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) ile elektriksel aktiviteleri kaydeden Elektroensefalografi (EEG), Manyetoensefalografi (MEG) ve Kararlı Durum Topografisi (SST) teknikleridir [92]. İnsanlarda, fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), pozitron emisyon tomografisi (PET) haritalaması gibi nörogörüntüleme teknikleri kullanılarak, tat ve koku uyaranlara karşı üst-katmalı tepkiler de belgelenmiştir [93, 94]. fMRI sıklıkla kullanılan modern bir yöntem olup, PET en pahalı fonksiyonel görüntüleme yöntemlerinden biridir [95]. Bu yöntemlerin bir avantajı, tüm beyinde olmasa da birçok bölgede işlemenin gözlemlenmesine olanak tanınması, böylece farklı kortikal bölgelerdeki eş zamanlı aktivitenin ölçülmesini mümkün kılmasıdır [8].

Duyuşal analiz, insan duyularının enstrüman gibi kullanıldığı, bir gıdanın doku, şekil, renk, kıvam, lezzet ve aroma gibi özelliklerini işitme, görme, koklama, tatma ve dokunma duyuları ile beş duyu organımızın tepkilerini ölçen, analiz eden bir disiplindir [47]. Gıdaların duyuşal özelliklerini değerlendirmek için eğitilmiş panelistlerden oluşan paneller kullanılır. Bu paneller, gıdaların tadı, dokusu, rengi ve kokusu gibi özelliklerini objektif olarak değerlendirerek bilimsel verilerin toplanmasını sağlar [96].

Koku ve tat analiz cihazları yiyeceklerin koku ve tat bileşenlerini hassas bir şekilde ölçmek için geliştirilmiş analiz cihazları da nörogastronomi kullanılmaktadır. Bu cihazlar, gıda örneklerinden uçucu bileşenleri ayırarak

kimyasal analizler yapılmasını sağlamakta ve bu sayede yiyeceklerin duyuşal özellikleri hakkında detaylı bilgi edinilmektedir [40].

Psikofiziksel testler (örneğin koku algılama, tanımlama, ayırma, hafıza ve eşik üstü yoğunluk testleri), elektrofizyolojik testler (örneğin koku olayıyla ilişkili potansiyeller) ve psikofizyolojik testler (örneğin kalp atış hızı ve solunumda kokuyla ilişkili değişiklikler) dahil olmak üzere çeşitli koku alma testi türleri n tespit edilir. Bu testlerin tümü genellikle koku alma sistemindeki yaşa bağlı azalmaları tespit eder. En yaygın kullanılan psikofiziksel testler, tanımlama testleri şeklinde tanımlanır. Pennsylvania Üniversitesi'nin 40 maddelik Koku Tanımlama Testi (UPSIT) ve daha kısa 12 maddelik versiyonu (Kısa Koku Tanımlama Testi veya B-SIT) gibi bir dizi tanımlama testi kendi kendine uygulanabilir. Bu tür testlerde bilindik koku maddeleri sunulur ve denekten yazılı alternatiflerden kokunun adını belirlemesi veya bazı durumlarda kokunun kaynağını gösteren bir resim seçmesi istenir [97, 98]. Evrensel olarak birçok koku tanınmadığı için tanımlama testlerinde genellikle belirli kültür ait koku ve tepkileri ölçülebilmektedir [99].

Davranışsal ve algısal olarak tat ve koku duyuları arasındaki yaygın karışıklığa dikkat çeken günlük bir örnek, insanların burunları tıkalı olduğunda tat alma duyularını kaybettiklerini bildirmeleridir [40]. Davidson ve arkadaşları deneylerinde, katılımcılardan nane aromalı bir sakız çiğnerken ağızlarında algılanan tat yoğunluğunu sürekli olarak derecelendirmeleri istendi. Nane aromalı sakızın tadı, içindeki şekerden gelirken, mentol koku ve trigeminal bileşenleri ortaya çıkarır. Mentol kokusunun algılanan/gerçek yoğunluğunun, insanlar sakızı çiğnemeye başladıklarında çok hızlı bir şekilde arttığı gösterilmiştir. Sonrasında, mentol kokusunun gerçek yoğunluğu 4-5 dakikalık çiğneme süresince oldukça sabit kalırken, algılanan yoğunluğu hızla azalmıştır ve ancak ilave şeker salınımıyla (yani kokusu olmayan bir tatlandırıcı eklenerek) tekrar yükselebilmektedir. Dolayısıyla sonuçlar, insanların mentol aromasının yoğunluğuna ilişkin algılarının aslında ağızlarındaki şeker salınımından (ve dillerinde algılanmasından) kaynaklandığını gösterebilmektedir [100].

Duygu tanıma yöntemi de nörogastronomide kullanılan bir yöntemdir. İnsanların yüz ifadelerini analiz edilerek duyuşal durumlarını belirlemeyi amaçlayan araştırma alanıdır. Yüz ifadeleri, duyuşal iletişimin temel biçimlerinden biri ve insan iletişiminin önemli bir özelliğidir. Bu alandaki çalışmalar, altı temel duygunun (mutluluk, üzüntü, korku, öfke, şaşkınlık ve tiksinti) evrensel olarak tanınırlığı üzerinden tespit edilebilmektedir. Bu yöntem özellikle EGG yöntemi ile birlikte işlevsel özellik sağlamaktadır [101].

8. Nörogastronominin Uygulama Alanları

Gastronomide nörogörüntülerin kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Örneğin, biyometrik ölçüm ile (vücudun tepkilerini ölçme) göz izleme yöntemi, arka plan türüne bağlı olarak yiyecekler tarafından toplanan görsel dikkati tespit etmek için göz hareketini izlemek veya koku veya kokuların, belirli bir kokuya karşılık gelen görsel olarak sunulan nesneler aracılığıyla dikkati artırıp artıramayacağını belirlemek için kullanılmıştır [102]. EEG tekniği, şarap aromalarının tüketici tercihleri üzerindeki etkilerini göstermiştir [103]. Böylece yiyeceklerin duyuşal olarak değerlendirilmesi araştırmaları yaygınlaşmıştır.

Nörogastronominin, beyin ölçümü (beynin pazarlama uyaranlarının etkisi altındaki tepkisini ölçme) bir başka ifade ile nörobilimi veya nöropazarlama alanında da etkili olmaktadır. Bilinçaltında tüketici karar alma süreçlerini ortaya koymak için nörobilimi, satın alma davranışıyla ilgili pazarlamayla ilgili konuları araştırmak için hem psikolojik hem de nörobilim yöntemlerini kullanır ve böylece tüketicinin tercihleri ve davranışları için bilimsel bir açıklama sunar [104, 105].

Gıdanın tasarımı ve ürün geliştirme noktasında görme, gıda algısı için birincil duyuşal girdi olması sebebiyle tat konusunda beklentileri yükseltmektedir. Nitekim bu durum gıdanın kabulünü veya reddedilmesini teşvik eder. Çekici bir şekilde servis edilen gıda daha lezzetli algısı yaratır. Gıda düzenlemedeki yaratıcılık yalnızca bireysel bileşenlerin rengine ve karmaşıklığına değil, aynı zamanda birlikte görsel bir bütün oluşturan tabak ambalaj gibi öğelere de dayanır. Gıdanın görsel tasarımının ve servis edilme biçiminin gıdanın koku algısına etkisi olmaktadır [106].

Sağlıklı yeme alışkanlığı kazanmaya çalışan bireylerin genellikle sağlıklı yiyeceklerin keyif alınmayacak yiyecekler olduklarını düşünmektedir. Söz gelimi diyet yapan bir birey sağlıklı bir yiyecek tüketirken bunu sağlıksız bir yiyecek tüketme dürtüsüyle mücadele ediyor gibi hisseder. Otokontroldeki noktasındaki bu zorluk, beyin düzeyinde yiyecek seçimi sırasında lezzetin sağlıktan daha erken işlenmesi ile açıklanır. Örneğin, Hare ve arkadaşları sağlıklı gıda tercihi noktasında kendini kontrol edemeyen bireylerin gıda maddelerinin tat dereceleriyle ilişkili olduğunu sonucuna varmışlardır [107]. Nörogastronominin yeme alışkanlıklarına daha etkili ve anlamlı bir yaklaşımla ele almasıyla yemeğin beyinle olan ilişkilerine odaklanarak öz kontrol mekanizması olumlu etkileri olacak nörodiyetset yaklaşımlarda bulunulacaktır [108].

9. Sonuç

Gastronomi ve nörobilim arasında bağlantı kurularak ortaya çıkan nörogastronomi ile insan beyninin yiyecekleri algılama ve tat ve koku alma süreçleri incelemek mümkün hale gelmiştir. Lezzetin sadece tat tomurcukları ile ilgili olmayıp aynı zamanda diğer duyuların özellikle retronazal koku duyusunun beynin tarafından şekillenmesi ile mümkün olduğu görülmektedir. Tat ve kokunun bir bütün olarak işlevselliği ortaya konulmuştur. İnsanların besin seçimlerini etkileyen nörolojik ve psikolojik mekanizmaları anlamak, sağlıklı yeme alışkanlıklarını teşvik etmek ve beslenmeyle ilgili sağlık sorunlarına bilhassa obeziteye çözüm için önemli ipuçları sunmaktadır. Nörogastronomi doğuştan gelen tercihlerinde değişiklik yapılabileceği veya alışkanlıkların değiştirilebileceği görülmüştür. Koku duyusu ile tat algısının değiştirilebileceği bireyin hiç sevmediği bir yiyecek veya içeceğin tüketilmesini sağlamanın mümkün olabileceği görülmüştür. Beynin yemekleri nasıl algıladığını keşfedip bu algıyı nasıl değiştirebileceğimiz yönünde fikirler üretilebilmektedir. Böylece yeme bozukluğuna sahip bireylerin yemekle olan ilişkilerini anlamak bunun nörolojik mekanizmaları çözmek, tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinde nörogastronomi yaklaşımıyla beynin farklı şekilde algılayarak çözmesi mümkün olabilecektir. Nörogastronominin disiplinler arası bir alan olduğunu; sağlık alanındaki potansiyeli, yiyecek tasarımı ve sunumuna etkileri, çoklu duyuşal deneyimlerin üzerine etkisi, lezzeti etkileyen unsurları ve hafızayla olan ilişkileri gibi yenilikçi ve birçok alanda entegre edilebileceği görülmektedir. Bunun yanında yeni ürün geliştirmeye ya da fonksiyonel gıda üretilmesinde yapılan duyuşal analizlerde nörogastronomiye yer verilmektedir. Gerek akademisyenlerle yapılan çalışmalar gerek güncel çalışmalar doğrultusunda nörogastronominin gelecekte büyük bir potansiyele sahip yenilikçi bir bilim olduğu açıklanmaktadır.

Kaynakça

- [1] M. Yılmaz, "Development Of Food Flavor Perception In Gastronomy: A Bibliometric Study On Neurogastronomy," *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 180-200, 2025.
- [2] G. Shepherd, *Neurogastronomy: how the brain creates flavor and why it matters*. Columbia University Press, 2013.
- [3] J. Berčík, J. Paluchová, and K. Neomániová, "Neurogastronomy as a tool for evaluating emotions and visual preferences of selected food served in different ways," *Foods*, vol. 10, no. 2, p. 354, 2021.
- [4] E. Akay, İ. Yılmaz, and A. Er, "Nörogastronomi," *Aydın Gastronomy*, vol. 5, no. 2, pp. 143-156, 2021.
- [5] D. O. Erkmen and N. Akhmetov, "Ganud International Conference On Gastronomy, Nutrition And Dietetics," 2019.
- [6] M. S. Hossain *et al.*, "Flavor and Well-Being: A Comprehensive Review of Food Choices, Nutrition, and Health Interactions," *Food Science & Nutrition*, vol. 13, no. 5, p. e70276, 2025.
- [7] B. J. Tepper and I. T. Barbarossa, "Taste, nutrition, and health," vol. 12, ed: MDPI, 2020, p. 155.
- [8] D. M. Small and J. Prescott, "Odor/taste integration and the perception of flavor," *Experimental brain research*, vol. 166, no. 3, pp. 345-357, 2005.
- [9] Y. Chen, Y. Liu, and X. Feng, "Food Perception: Taste, Smell and Flavour," vol. 12, ed: MDPI, 2023, p. 3628.
- [10] M. Mastinu, M. Melis, N. Y. Yousaf, I. T. Barbarossa, and B. J. Tepper, "Emotional responses to taste and smell stimuli: Self-reports, physiological measures, and a potential role for individual and genetic factors," *Journal of Food Science*, vol. 88, no. S1, pp. A65-A90, 2023.
- [11] S. Lagast *et al.*, "Heart rate, electrodermal responses and frontal alpha asymmetry to accepted and non-accepted solutions and drinks," *Food Quality and Preference*, vol. 82, p. 103893, 2020.
- [12] A. Van Opstal *et al.*, "Effect of flavor on neuronal responses of the hypothalamus and ventral tegmental area," *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, p. 11250, 2019.
- [13] S. D. Roper and N. Chaudhari, "Taste buds: cells, signals and synapses," *Nature reviews neuroscience*, vol. 18, no. 8, pp. 485-497, 2017.
- [14] S. C. Kinnamon and T. E. Finger, "A taste for ATP: neurotransmission in taste buds," *Frontiers in cellular neuroscience*, vol. 7, p. 264, 2013.
- [15] C. H. Lemon and D. B. Katz, "The neural processing of taste," *BMC neuroscience*, vol. 8, no. Suppl 3, p. S5, 2007.
- [16] C. Li *et al.*, "Taste and its receptors in human physiology: A comprehensive look," *Food Frontiers*, vol. 5, no. 4, pp. 1512-1533, 2024.

- [17] S. Bhalariao, R. Munshi, P. Tilve, and D. Kumbhar, "A survey of the labeling information provided for ayurvedic drugs marketed in India," *International journal of Ayurveda research*, vol. 1, no. 4, p. 220, 2010.
- [18] M. H. Fischer, L. Kaufmann, and F. Domahs, "Finger counting and numerical cognition," vol. 3, ed: Frontiers Research Foundation, 2012, p. 108.
- [19] O. G. Mouritsen, "The science of taste," *Flavour*, vol. 4, no. 1, p. 18, 2015.
- [20] S. A. Gravina, G. L. Yep, and M. Khan, "Human biology of taste," *Annals of Saudi medicine*, vol. 33, no. 3, pp. 217-222, 2013.
- [21] T. Sasano, S. Satoh-Kuriwada, and N. Shoji, "The important role of umami taste in oral and overall health," *Flavour*, vol. 4, no. 1, p. 10, 2015.
- [22] A. Taruno, K. Nomura, T. Kusakizako, Z. Ma, O. Nureki, and J. K. Foskett, "Taste transduction and channel synapses in taste buds," *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, vol. 473, no. 1, pp. 3-13, 2021.
- [23] J. H. Jang, O. Kwon, S. J. Moon, and Y. T. Jeong, "Recent advances in understanding peripheral taste decoding I: 2010 to 2020," *Endocrinology and Metabolism*, vol. 36, no. 3, pp. 469-477, 2021.
- [24] C. Trimmer *et al.*, "Genetic variation across the human olfactory receptor repertoire alters odor perception," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 19, pp. 9475-9480, 2019.
- [25] A. Nakashima and H. Takeuchi, "Shaping the olfactory map: cell type-specific activity patterns guide circuit formation," *Frontiers in Neural Circuits*, vol. 18, p. 1409680, 2024.
- [26] A. Nakashima and H. Takeuchi, "Roles of odorant receptors during olfactory glomerular map formation," *genesis*, vol. 62, no. 3, p. e23610, 2024.
- [27] G. N. Dikeçligil and J. A. Gottfried, "What does the human olfactory system do, and how does it do it?," *Annual review of psychology*, vol. 75, no. 1, pp. 155-181, 2024.
- [28] T. Brandt and D. Huppert, "The mysterious sense of smell: evolution, historical perspectives, and neurological disorders," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 19, p. 1588935, 2025.
- [29] M. Kadohisa, "Effects of odor on emotion, with implications," *Frontiers in systems neuroscience*, vol. 7, p. 66, 2013.
- [30] T. Eek, F. Lundin, M. Larsson, P. Hamilton, and C. Georgiopoulos, "Neural suppression in odor recognition memory," *Chemical Senses*, vol. 48, p. bjad001, 2023.
- [31] M. Hakim *et al.*, "Retrieval of olfactory fear memory alters cell proliferation and expression of pCREB and pMAPK in the corticomедial amygdala and piriform cortex," *Chemical Senses*, vol. 47, p. bjac021, 2022.

- [32] M. Silvas-Baltazar, G. López-Oropeza, P. Durán, and A. Martínez-Canabal, "Olfactory neurogenesis and its role in fear memory modulation," *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 17, p. 1278324, 2023.
- [33] C. C. Woo, B. Miranda, M. Sathishkumar, F. Dehkordi-Vakil, M. A. Yassa, and M. Leon, "Overnight olfactory enrichment using an odorant diffuser improves memory and modifies the uncinate fasciculus in older adults," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 17, p. 1200448, 2023.
- [34] K. Sakikawa *et al.*, "Role of the amygdala-medial orbitofrontal relationship in odor recognition in the elderly," *Brain and Behavior*, vol. 13, no. 4, p. e2956, 2023.
- [35] E. Gerardin *et al.*, "Odor increases synchronization of brain activity when watching emotional movies," *Journal of the International Neuropsychological Society*, pp. 1-11, 2025.
- [36] A. Idris, B. A. Christensen, E. M. Walker, and J. X. Maier, "Multisensory integration of orally-sourced gustatory and olfactory inputs to the posterior piriform cortex in awake rats," *The Journal of physiology*, vol. 601, no. 1, pp. 151-169, 2023.
- [37] P. A. Khorisantono, M. G. Veldhuizen, and J. Seubert, "Tastes and retromasal odours evoke a shared flavour-specific neural code in the human insula," *Nature Communications*, vol. 16, no. 1, p. 8252, 2025.
- [38] S. Stocke and C. L. Samuelson, "Multisensory Integration Underlies the Distinct Representation of Odor-Taste Mixtures in the Gustatory Cortex of Behaving Rats," *Journal of Neuroscience*, vol. 44, no. 20, 2024.
- [39] I. E. De Araujo, E. T. Rolls, M. L. Kringelbach, F. McGlone, and N. Phillips, "Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain," *European Journal of Neuroscience*, vol. 18, no. 7, pp. 2059-2068, 2003.
- [40] M. Auvray and C. Spence, "The multisensory perception of flavor," *Consciousness and cognition*, vol. 17, no. 3, pp. 1016-1031, 2008.
- [41] S. E. Colbert, C. S. Triplett, and J. X. Maier, "The role of viscosity in flavor preference: plasticity and interactions with taste," *Chemical Senses*, vol. 47, p. bjac018, 2022.
- [42] L. Engelen, R. A. de Wijk, J. F. Prinz, A. M. Janssen, H. Weenen, and F. Bosman, "The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids," *Appetite*, vol. 41, no. 3, pp. 273-281, 2003.
- [43] B. G. Green and D. Nachtigal, "Somatosensory factors in taste perception: effects of active tasting and solution temperature," *Physiology & behavior*, vol. 107, no. 4, pp. 488-495, 2012.

- [44] K. Motoki, C. Spence, and C. Velasco, "When visual cues influence taste/ flavour perception: A systematic review," *Food Quality and Preference*, vol. 111, p. 104996, 2023.
- [45] O. Halabi and M. Saleh, "Augmented reality flavor: cross-modal mapping across gustation, olfaction, and vision," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 80, no. 30, pp. 36423-36441, 2021.
- [46] M. Zampini and C. Spence, "Assessing the role of visual and auditory cues in multisensory perception of flavor," *The neural bases of multisensory processes*, 2012.
- [47] E. E. Karaman and N. Çetinkaya, "Gıda tercihinde duyuların rolü: tat duyusunun tat testi ile demografik özelliklere göre farklılığının tespiti," *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 24, no. 2, pp. 883-898, 2020.
- [48] C. Spence, "The neuroscience of flavor," in *Multisensory flavor perception*: Elsevier, 2016, pp. 235-248.
- [49] C. Spence, "Multisensory flavor perception: A cognitive neuroscience perspective," in *Multisensory perception*: Elsevier, 2020, pp. 221-237.
- [50] D. M. Small, "Flavor is in the brain," *Physiology & behavior*, vol. 107, no. 4, pp. 540-552, 2012.
- [51] C. Spence, "Multisensory flavour perception," *Current Biology*, vol. 23, no. 9, pp. R365-R369, 2013.
- [52] D. Philipsen, F. Clydesdale, R. Griffin, and P. Stern, "Consumer age affects response to sensory characteristics of a cherry flavored beverage," *Journal of Food Science*, vol. 60, no. 2, pp. 364-368, 1995.
- [53] D. Guido, S. Perna, M. Carrai, R. Barale, M. Grassi, and M. Rondanelli, "Multidimensional evaluation of endogenous and health factors affecting food preferences, taste and smell perception," *The Journal of nutrition, health and aging*, vol. 20, no. 10, pp. 971-981, 2016.
- [54] J. Mojet, *Taste Perception with Age*. Wageningen University and Research, 2004.
- [55] E. Kurtuldu, Ö. Miloğlu, G. Derindağ, and A. Özdoğan, "Tat Duyu Bozukluklarına Genel Bakış," *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, vol. 28, no. 2, pp. 277-283, 2018.
- [56] K. Ng *et al.*, "Effect of age and disease on taste perception," *Journal of pain and symptom management*, vol. 28, no. 1, pp. 28-34, 2004.
- [57] S. S. Schiffman and J. Zervakis, "Taste and smell perception in the elderly: effect of medications and disease," 2002.
- [58] N. Sadeghi, H. Farazdaghi, P. Parandoosh, P. Dehghani, and M. Khatibi, "Relationship between pregnancy and sense of taste," *Romanian Journal of*, vol. 125, no. 2, pp. 312-317, 2021.

- [59] E. L. Cameron, "Pregnancy and olfaction: a review," *Frontiers in psychology*, vol. 5, p. 72657, 2014.
- [60] S. Ozilgen, "Factors affecting taste perception and food choice," *The Sense of Taste; Nova Science Publishers, Inc.: New York, NY, USA*, pp. 115-125, 2012.
- [61] Y. Koubaa and A. Eleuch, "Gender effects on odor-induced taste enhancement and subsequent food consumption," *Journal of Consumer Marketing*, vol. 37, no. 5, pp. 511-519, 2020.
- [62] M. Lombardo *et al.*, "Gender differences in taste and food habits: implications for personalized nutrition," in *Biology and Life Sciences Forum*, 2023, vol. 29, no. 1, p. 1: MDPI.
- [63] V. B. Duffy and L. M. Bartoshuk, "Food acceptance and genetic variation in taste," *Journal of the American Dietetic Association*, vol. 100, no. 6, pp. 647-655, 2000.
- [64] M. Behrens, H. C. Gunn, P. C. Ramos, W. Meyerhof, and S. P. Wooding, "Genetic, functional, and phenotypic diversity in TAS2R38-mediated bitter taste perception," *Chemical senses*, vol. 38, no. 6, pp. 475-484, 2013.
- [65] M. Muslu and G. F. Gökçay, "Lezzet algısının oluşmasında çevresel ve genetik faktörlerin etkileri," *Batı Karadeniz Tıp Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 7-18, 2021.
- [66] J. A. Mennella, M. Y. Pepino, and D. R. Reed, "Genetic and environmental determinants of bitter perception and sweet preferences," *Pediatrics*, vol. 115, no. 2, pp. e216-e222, 2005.
- [67] G. Harris, "Development of taste and food preferences in children," *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, vol. 11, no. 3, pp. 315-319, 2008.
- [68] E. Rojas-Rivas, A. Rendón-Domínguez, J. A. Felipe-Salinas, and F. Cufia, "What is gastronomy? An exploratory study of social representation of gastronomy and Mexican cuisine among experts and consumers using a qualitative approach," *Food Quality and Preference*, vol. 83, p. 103930, 2020.
- [69] A. Batu, "Moleküler gastronomi bakış açısıyla gıdaların tat ve aroma algıları," *Aydın Gastronomi*, 2017.
- [70] H. Nguyen, C. Dacremont, and D. Valentin, "Perceptual separability and taste-odour interactions," in *Poster presented at the European Chemoreception Research Organisation conference. Brighton, England*, 2000, pp. 20-24.
- [71] Ş. Karagöz, "Gastronomide Tat ve Aroma Etkileşimleri Taste And Aroma Interactions in Gastronomy," *TOURISM RESEARCH*, 2018.
- [72] C. Yaparel and Y. Elmacı, "Tat-koku interaksiyonları," *Akademik Gıda*, vol. 14, no. 2, pp. 218-224, 2016.

- [73] R. J. Stevenson, J. Prescott, and R. A. Boakes, "Confusing tastes and smells: how odours can influence the perception of sweet and sour tastes," *Chemical senses*, vol. 24, no. 6, pp. 627-635, 1999.
- [74] S. M. Kosslyn, G. Ganis, and W. L. Thompson, "Neural foundations of imagery," *Nature reviews neuroscience*, vol. 2, no. 9, pp. 635-642, 2001.
- [75] C. Spence, *Gastrophysics: The new science of eating*. Penguin UK, 2017.
- [76] C. Murphy, C. R. Schubert, K. J. Cruickshanks, B. E. Klein, R. Klein, and D. M. Nondahl, "Prevalence of olfactory impairment in older adults," *Jama*, vol. 288, no. 18, pp. 2307-2312, 2002.
- [77] H. Yasan and M. E. Sivrice, "Covid 19 hastalarında tat ve koku bozuklukları," *Medical journal of süleyman demirel university*, vol. 28, no. covid-19 özel sayı, pp. 153-156.
- [78] G. Ellender, "Biomedical gastronomy in the interventions of smell and taste disorders in 'altered eating'," *Clinical Nutrition Open Science*, vol. 46, pp. 29-34, 2022.
- [79] S. Isezuo, V. Saidu, S. Anas, B. Tambwal, and I. Bilbis, "Comparative analysis of salt taste perception among diabetics, hypertensives and diabetic hypertensives," *Nigerian Medical Practitioner*, vol. 53, no. 1-2, pp. 7-10, 2008.
- [80] S. S. Schiffman, "Taste and smell in disease," *New England Journal of Medicine*, vol. 308, no. 22, pp. 1337-1343, 1983.
- [81] N. M. Mann, "Management of smell and taste problems," *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, vol. 69, no. 4, pp. 329-336, 2002.
- [82] S. S. Schiffman, "Influence of medications on taste and smell," *World journal of otorhinolaryngology-head and neck surgery*, vol. 4, no. 01, pp. 84-91, 2018.
- [83] S. S. Schiffman, "Influence of drugs on taste function," *Handbook of olfaction and gustation*, pp. 911-926, 2015.
- [84] B. Kaldırım and Y. Vergi, "Yağların Tat Duyusunun Obezite ile İlişkisi," *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, vol. 5, no. 3, pp. 351-357, 2021.
- [85] S. Ş. Karakuş, "Tat algılamayı etkileyen faktörler," *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, vol. 1, no. 4, pp. 26-34, 2013.
- [86] A. F. Da Ré, L. G. Gurgel, G. Buffon, W. E. R. Moura, D. C. G. M. Vidor, and M. A. P. Maahs, "Tobacco influence on taste and smell: systematic review of the literature," *International archives of otorhinolaryngology*, vol. 22, no. 01, pp. 81-87, 2018.
- [87] M. Katotomichelakis *et al.*, "The effect of smoking on the olfactory function," *Rhinology*, vol. 45, no. 4, p. 273, 2007.

- [88] P. Tokat and I. Yılmaz, "Neurogastronomy: factors affecting the taste perception of food," *International Journal of Gastronomy Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1-10, 2023.
- [89] J. Suliburska, G. Duda, and D. Pupek-Musialik, "Effect of tobacco smoking on taste sensitivity in adults," *Przegląd Lekarski*, vol. 61, no. 10, pp. 1174-1176, 2004.
- [90] E. Keleş and E. Kol, "Eğitim penceresinden beyin görüntüleme tekniklerine genel bir bakış," *İlköğretim Online*, vol. 14, no. 1, pp. 349-363, 2015.
- [91] R. Carter, *Mapping the mind*. Hachette UK, 2013.
- [92] H. Demirtürk and N. Yücel, "Nöropazarlama açısından bilgilendirilmiş kullanıcıların karar süreci üzerinde koku etkisinin ölçülmesi," *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, vol. 7, no. 3, pp. 58-69, 2017.
- [93] R. I. Henkin, L. M. Levy, and C. S. Lin, "Taste and smell phantoms revealed by brain functional MRI (fMRI)," *Journal of computer assisted tomography*, vol. 24, no. 1, pp. 106-123, 2000.
- [94] A. Qureshy *et al.*, "Functional mapping of human brain in olfactory processing: a PET study," *Journal of neurophysiology*, vol. 84, no. 3, pp. 1656-1666, 2000.
- [95] B. Neecharika, W. J. Suneetha, and B. A. Kumari, "Electroencephalography for enhanced understanding of consumer preference," *Current Journal of Applied Science and Technology*, vol. 39, no. 5, pp. 47-54, 2020.
- [96] M. Aksoy and G. Sezgi, "Moleküler mutfak tekniklerinin duyu analizi yöntemiyle değerlendirilmesi," *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, vol. 5, no. 4, pp. 546-565, 2017.
- [97] E. L. Cameron and R. L. Doty, "Odor identification testing in children and young adults using the smell wheel," *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, vol. 77, no. 3, pp. 346-350, 2013.
- [98] C. Evren, V. B. Yiğit, and F. Çınar, "Koku fonksiyonunun subjektif değerlendirilmesi," *The Turkish Journal of Ear Nose and Throat*, vol. 25, no. 1, pp. 59-64, 2015.
- [99] S. Kandemir and N. B. Muluk, "Koku fizyolojisi ve koku testleri: Derleme," *Turkish Journal of Clinics and Laboratory*, vol. 7, no. 2, pp. 48-53, 2016.
- [100] J. M. Davidson, R. S. Linforth, T. A. Hollowood, and A. J. Taylor, "Effect of sucrose on the perceived flavor intensity of chewing gum," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 47, no. 10, pp. 4336-4340, 1999.
- [101] C. Ucuk, N. S. Percin, C. Cevik, T. Al, and I. Kara, "Can the image of food mislead the brain? Neurogastronomy research with EEG and emotion recognition," *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 39, p. 101097, 2025.

- [102] H.-S. Seo, E. Roidl, F. Müller, and S. Negoias, "Odors enhance visual attention to congruent objects," *Appetite*, vol. 54, no. 3, pp. 544-549, 2010.
- [103] E. Horska, J. Bercik, A. Krasnodebski, R. Matysik-Pejas, and H. Baka-yova, "Innovative approaches to examining consumer preferences when choosing wines," *Agricultural Economics/Zemědělská Ekonomika*, vol. 62, no. 3, 2016.
- [104] L. Alvino, L. Pavone, A. Abhishta, and H. Robben, "Picking your brains: Where and how neuroscience tools can enhance marketing research," *Frontiers in neuroscience*, vol. 14, p. 577666, 2020.
- [105] M. M. Niedziela and K. Ambroze, "The future of consumer neuroscience in food research," *Food Quality and Preference*, vol. 92, p. 104124, 2021.
- [106] J. Berčík, J. Paluchová, and K. Neomániová, "Neurogastronomy as a Tool for Evaluating Emotions and Visual Preferences of Selected Food Served in Different Ways. Foods 2021, 10, 354," ed: s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published ..., 2021.
- [107] O. Petit, F. Basso, D. Merunka, C. Spence, A. D. Cheok, and O. Oullier, "Pleasure and the control of food intake: An embodied cognition approach to consumer self-regulation," *Psychology & Marketing*, vol. 33, no. 8, pp. 608-619, 2016.
- [108] İ. E. Dikeç, S. Ç. Kavsara, And T. Boğa, "Farklı Biçimlerde Servis Edilen Yiyeceklerin Görsel Olarak Değerlendirilmesinde Nörogastronominin Rolü," *04 Aralık 2021*, p. 112.