



## GIDALARDA SODYUM AZALTIMI

**Semra Bozkurt, Mehmet Koç\***

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Aydın, Türkiye

Geliş / Received: 02.02.2021; Kabul / Accepted: 28.10.2021; Online baskı / Published online: 18.03.2022

Bozkurt, S., Koç, M. (2022). Gıdalarda sodyum azaltımı. *GIDA* (2022) 47 (2) 231-251 doi: 10.15237/gida.GD21023

Bozkurt, S., Koç, M. (2022). *Sodium reduction in foods. GIDA* (2022) 47 (2) 231-251 doi: 10.15237/gida.GD21023

### ÖZ

Sodyum besinlerde doğal olarak bulunan bir mineral olup vücutta sıvı ve elektrolit dengesinin sağlanmasında ve kan basıncının düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, aşırı sodyum tüketimi, başta hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıklar olmak üzere pek çok önemli rahatsızlığa neden olmaktadır. Gıdalardaki başlıca sodyum kaynağı ise daha çok sofraya tuzu olarak bilinen sodyum klorürdür. Tuz, gıdaların duyuşal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Gıdalarda sodyum azaltımı, duyuşal kalite, raf ömrü ve işlevsellik faktörlerini içeren çok boyutlu bir işlemdir. Gıda ürünlerinde sodyumun azaltılmasına yönelik mevcut yaklaşımlar, esas olarak gıda formülasyonlarında tuzun kaldırılması ve kademeli sodyum azaltımı, sodyumun tuz ikameleri ile değiştirilmesi, lezzet artırıcıların kullanımı, sodyum salınımını ve taşınmasını optimize etmek amacıyla gıda yapısının yeniden tasarlanması, tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi, yeni teknolojilerle tuz difüzyonunun geliştirilmesi ve koku-tat interaksyonları stratejilerini içermektedir. Bu derlemede, sodyum hakkında genel bilgi sunularak, gıdalarda sodyum azaltımına yönelik stratejiler ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sodyum, hipertansiyon, kardiyovasküler, tuz, tuzun işlevi, sodyum azaltma

## SODIUM REDUCTION IN FOODS

### ABSTRACT

Sodium is a mineral found naturally in foods and plays an important role in maintaining fluid and electrolyte balance in the body and regulating blood pressure. However, excessive sodium consumption causes many important ailments, especially hypertension and cardiovascular diseases. The main source of sodium in foods is sodium chloride, better known as table salt. Salt has a significant effect on the sensory, physical, chemical and microbiological properties of foods. Sodium reduction in foods is a multidimensional process that includes sensory quality, shelf life and functionality factors. Current approaches to reducing sodium in food products mainly include salt removal and gradual reduction of sodium in food formulations, replacement of sodium with salt substitutes, use of flavor enhancers, redesigning the food structure to optimize sodium release and transport, altering the physical form of salt, improving salt diffusion with new technologies and odor-taste interaction strategies. In this review, general information about sodium is presented and strategies for sodium reduction in foods are discussed.

**Keywords:** Sodium, hypertension, cardiovascular, salt, the function of salt, sodium reduction

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ mehmetkoc@adu.edu.tr

☎ (+90) 256 213 7503

☎ (+90) 256 213 6686

Semra Bozkurt; ORCID no: 0000-0002-7132-9773

Mehmet Koç; ORCID no: 0000-0002-7295-7640

## GİRİŞ

Sodyum besinlerde doğal olarak bulunan bir mineraldir. Sodyum, klor ve potasyum gibi diğer minerallerle birlikte hücre içinde (potasyum) ve dışında (sodyum ve klor) sıvıların dengesini kontrol eden elektrolit olarak adlandırılır (Kloss vd., 2015). İnsan vücudunda kan plazmasını içeren hücre dışı sıvılarda, temel iyonlar olan sodyum ve klorür yaşam sürdürme süreçlerinde kritik bir rol oynar. Sodyum, sinir uyarılarının iletilmesinde, kas kasılmasında, hücresel membran potansiyelinin korunmasında, sıvı dengesinin sağlanmasında, asit-baz dengesi, ozmotik basınç ve kan basıncının düzenlenmesinde, besinlerin ve suyun hücreler arasında taşınmasında ve ince bağırsakta emiliminde önemli rol oynar (Kloss vd., 2015).

Hayvansal ve bitkisel kaynaklarda sodyum element olarak yer aldığı gibi sodyum klorür şeklinde de bulunmaktadır. Gıdalarda sodyum kaynakları, gıdanın bileşiminde yer alan sodyum, gıdaya eklenen diğer bileşenler (emülgatörler, hamur kabartıcılar, kimyasal koruyucular vb) ve dışarıdan eklenen sodyum klorür olmak üzere üç başlık altında toplanabilir (Ilgaz ve Yarangümeli, 2019). Gıdalardaki başlıca sodyum kaynağı ise daha çok sofraya tuzu olarak bilinen sodyum klorürdür ve insan diyetindeki sodyumun yaklaşık %90'ını oluşturur. Sodyum klorür, ağırlıkça %40 sodyum ve %60 klorürden oluşan iyonik bir bileşiktir (Kloss vd., 2015). Gıda işlemede önemli bir bileşen olan sodyum klorür, tat maskeleyme, lezzet artırma, tekstürel özellikleri iyileştirme ve koruyucu özelliğinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

## SODYUM VE SAĞLIK

Dünya çapında meydana gelen ölüm nedenlerinin başında kardiyovasküler hastalıklar gelmekte ve kardiyovasküler hastalıklar için en önemli risk faktörü olarak yüksek kan basıncı gösterilmektedir (Forouzanfar vd., 2017). Tuz (sodyum klorür) kan basıncının düzenlenmesinde önemli rol oynamakta ve yapılan çalışmalar, uzun süreli düşük sodyum alımının kan basıncının düşmesine yol açtığını ve yaşla birlikte kan basıncındaki artışı yavaşlattığını göstermektedir. Yetişkin bir birey, sağlıklı bir biçimde yaşantısını sürdürebilmek için

günde 1500 mg (65 mmol) sodyuma ihtiyaç duymaktadır (IOM, 2005). Tuzun yapısında bulunan ve vücutta sıvı ve elektrolit dengesinin sağlanmasında ve kan basıncının düzenlenmesinde önemli rol oynayan sodyum fazla tüketildiğinde ise kan basıncı üzerindeki etkisine ek olarak ciddi sağlık sorunlarına da yol açmaktadır. Aşırı sodyum tüketimi, ciddi bir halk sağlığı sorununu temsil eden koroner kalp hastalığı, kalp yetmezliği ve felç gibi kardiyovasküler hastalıklar için ana risk faktörlerinden biridir (Muñoz vd., 2020). Tuz oranı yüksek bir diyetin, yüksek tansiyon (Garfinkle, 2017) ve koroner kalp hastalıkları (Xue vd., 2020) gibi kardiyovasküler hastalıkların ölüm oranını ve insidansını artırdığı bilinmektedir. İnmenin %62'sinin ve koroner kalp hastalığının %49'unun yüksek tansiyondan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Kloss vd., 2015). Yapılan çalışmalarda, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıklar dışında aşırı sodyum tüketimi, mide kanseri, böbrek hastalığı, kemik demineralizasyonu ve obezite gibi birçok olumsuz sağlık etkisiyle ilişkilendirilmiştir (Wilck vd., 2017; Sharif vd., 2018; He vd., 2019). Giderek artan çalışmalar, bu mineralin aşırı tüketiminin, otoimmün sistemi yok edebileceğini ayrıca bağırsak mikrobiyotasının bozulmasına, Lactobacillus'un bağırsakta sağ kalım oranının azalmasına neden olduğunu göstermiştir (Wilck vd., 2017). Ayrıca, yüksek tuz alımı, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşmasına yola açmakta ve karaciğer fibrozunu tetiklemektedir (Wang vd., 2016). Bu nedenle WHO (2018), tuz alımını <5 g/gün tutmanın hipertansiyonu önlemeye yardımcı olduğunu ve yetişkin popülasyonda kalp hastalığı ve felç riskini azalttığını bildirmektedir. Yüksek sodyum alımıyla ilgili artan halk sağlığı endişeleri, dünya çapında sodyumu azaltma çabalarının hız kazanmasına öncülük etmiştir.

## TUZUN GIDALARDAKİ İŞLEVİ

Tuz, gıda işleme ve tüketiminde önemli bir rol oynar. Gıda ürünlerinde yaygın olarak kullanılan tuz çok işlevli bir role sahiptir. Tuzun gıdalardaki fonksiyonları duyuşsal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olmak üzere dört grupta toplanabilir.

*Duyusal etkisi (Lezzet):* Sofra tuzu (NaCl) gıdaların lezzetini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu durum tuzun, istenmeyen tatları (acı, metalik veya kimyasal) maskelerken, arzulan bazı tatların yoğunluğunu arttırabilme potansiyelinden ileri gelmektedir. Tuz, gıdaların lezzet profilini yükselterek tüketici için daha cazip hale getirmektedir. Gıda matrislerinde, sodyum tuzları diğer tat özelliklerini de etkilemektedir. Orta ve yüksek konsantrasyon acılığı ve tatlılığı düşürmekte, acılığı/ekşiliği dengelemekte, umami tadının yoğunluğunu arttırmaktadır. Ayrıca tuzun, önemli aroma bileşiklerinin sentezlenmesinde rol alan bazı organizmaların gelişmesini ve enzimlerin aktivitesini düzenleyerek gıdanın lezzetini etkilediği belirtilmiştir (Ilgaz ve Yarangümeli, 2019).

*Fiziksel ve kimyasal etkisi:* Tuz, gıdaların yalnızca lezzet profilini değil, görünüm ve yapısal özelliklerini de etkilemektedir. Ürünün dokusu, akışkanlığı, gevrekliği, rengi ürün formülü içerisinde yer alan tuz miktarına göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmalar, tuzun gıdaların tekstürel özellikleri ve bazı kalite kriterleri üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Tuz, gıdadaki diğer temel bileşenlerle (protein, yağ ya da su) etkileşime girip gıdaların dokusunu ve işleme sırasında oluşan reaksiyonları etkilemektedir (O'Sullivan, 2020).

Ekmek ve unlu mamüllerin hamurunda kullanılan tuz, buğday proteinleri ile etkileşime girerek proteinleri sıkılaştırmakta ve bu durum hamuru güçlendirerek mayalanma ve pişirme sırasında gaz tutma kapasitesini arttırmakta ve daha iyi kabarma sağlamaktadır. Tuzlu hamurun daha fazla su tutma özelliği, hamurun yapışkanlığını azaltmakta, hacmini ve ekmek miktarını arttırmaktadır (Silow vd., 2016).

Et ve et ürünlerine ilave edilen tuz pH değerini düşürür, proteinlerin daha fazla su molekülü bağlamasını sağlar. Bazı proteinler çözünebilir hale gelerek öğütülmüş etin bir arada durmasına yardımcı olur ve pişmiş ürünün verimini artırır (Inguglia vd., 2017).

Peynir üretiminde tuz, peynirin son nemini, tekstürünü, starter bakteri ve aroma üreten

sekonder organizma tiplerinin üründeki aktivitesini ve gelişmesini etkilemekle birlikte aynı zamanda tuz peynir üretiminde, laktik asit fermantasyonunu engellemekte, enzimlerle etkileşime girerek peynirin olgunlaşma sürecini düzenlemektedir (Bansal ve Mishra, 2020).

*Mikrobiyolojik Güvenlik:* Tuz, su aktivitesi (aw) değerini patojenlerin ve bozulma yapan mikroorganizmaların gıdada gelişmesi için gereken seviyenin altına düşürerek koruyucu görevi yapmaktadır (O'Sullivan vd., 2020).

## GIDA ÜRÜNLERİNDE SODYUM AZALTMA STRATEJİLERİ

Dünyada birçok kişi fizyolojik gereksinimler için ihtiyaç duyulan miktarın üzerinde tuz tüketmektedir. Evrensel olarak, diyetle alınan tuz miktarı, WHO tarafından önerilenden çok daha yüksektir (ortalama 9-12 g/gün, önerilen maksimum düzeyin 2 katı kadar) (Health Canada, 2018). Son araştırmalar, aşırı tuz/sodyum tüketiminin hipertansiyon, kardiyovasküler hastalık ve felç gibi olumsuz sağlık sorunlarına yol açtığını doğrulamaktadır (WHO, 2016; Graudal vd., 2016; Mente vd., 2018; Cappuccio vd., 2019). WHO, kardiyovasküler hastalıkları azaltmak için önemli bir tedbir olarak evrensel ortalama sodyum alımını 2025 yılına kadar %30 oranında azaltmayı hedeflemiş (WHO, 2018) ve mevcut ürünlerdeki sodyum seviyesini düşürmek ve daha düşük sodyum seviyelerine sahip yeni ürünler formüle etmek amacıyla gıda endüstrisine tavsiyelerde bulunmuştur (WHO, 2004; Ndanuko vd., 2020).

İstenen fiziksel/dokusal özellikleri kaybetmeden sodyumun azaltılması, spesifik gıda uygulamasına ve benzer işlevleri yerine getirecek diğer bileşenlerin veya teknolojilerin varlığına bağlıdır. Tuz azaltımının güç olduğu uygulamalar arasında et, peynir ve ekmek gibi gıda ürünleri yer almaktadır. Diyetle sodyum alımına önemli ölçüde katkıda bulunan bu ürünlerde karmaşık işlevselliği nedeniyle tuzun azaltılması oldukça güçtür. Bu gıdalarda, sodyum klorürün önemli işlevleri tat, koruma ve doku sağlamadır. Ekmek, et ve et ürünleri, peynir ve diğer gıda ürünlerinde sodyum azaltımına yönelik yapılan örnek çalışmalar sırasıyla Çizelge 1, 2, 3 ve 4'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ekmekte sodyum azaltımına yönelik çalışmalar

Referans	Ürün	Azaltma stratejisi	% Azaltma
Charlton vd. (2007)	Esmek ekme	KCl, MgCl <sub>2</sub> ve CaCl <sub>2</sub> tuzları ile kısmi ikamesi	%32.30
Lynch vd. (2009)	Hamur ve ekme	Azaltma	%10
Braschi vd. (2009)	Ekme	KCl+soya unu	%30
Noort vd. (2010)	Ekme	Gıda yapısının yeniden tasarlanması	%28
Samapundo vd. (2010)	Beyaz Ekme	KCl ve sub4salt ile kısmi ikamesi	%30
Bolhuis vd. (2011)	Ekme	Azaltma/ KCl ve maya ekstraktı	%31, %52, %67
Noort vd. (2012)	Ekme	Enkapsüle tuz	%50
Kremer (2013)	Ekme	Soya sosu	%17.6
Brinsden vd. (2013)	Ekme	Azaltma	%20
Konitzer vd. (2013)	Ekme	Tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi	%25
Bassett vd. (2014)	Ekme	%50 NaCl yerine CaCl <sub>2</sub> ve CaCO <sub>3</sub>	%50
Miller ve Jeong (2014)	Ekme	Düşük sodyum içerikli deniz tuzu	%57, %64
La Croix vd. (2015)	Sandviç ekmeği	Azaltma	%30
Diler vd. (2016)	Ekme	Enkapsüle tuz	%25
Georges vd. (2018)	Pide	Ag-NaCl and NaCl-KCl	%25.6, %12.1
Antúnez vd. (2018)	Ekme	KCl ile kısmi ikamesi	%30
Reißner vd. (2019)	Buğday ekmeği	K, Ca, Mg tuzlarının kombinasyonu ile kısmi ikamesi	%50
Dziki vd. (2021)	Buğday ekmeği	Tuz azaltımı ve sumak unu	%66.70

Çizelge 2. Et ve et ürünlerinde sodyum azaltımına yönelik çalışmalar

Referans	Ürün	Azaltma stratejisi	% Azaltma
McGough vd. (2012)	Sosis	Soya sosu+KCl	%20
Almlı vd. (2013)	Füme somon	KCl ile kısmi ikamesi	%33
Carvalho vd. (2013)	Marine edilmiş sığır ve tavuk eti	KCl ile kısmi ikamesi	%50
Jungbunzlauer (2013)	Jambon ve emülsifiye sosis	Sub4salt	%30
Galvão vd. (2014)	Hindi jambonu	Mikronize sodyum klorür	%30
Corral vd. (2014)	Fermente sucuk	KCl ile kısmi ikamesi	%25
Pietrasik vd. (2014)	Yeniden yapılandırılmış jambon	Düşük sodyum içerikli deniz tuzu	%30, %48
Tamm vd. (2016)	Jambon	Yüksek basınç+KCl	%45
Nuwanthi vd. (2016)	Kurutulmuş balık	Tuz azaltma ve baharat (zerdeçal, acı biber, biber)	%60
Rizo vd. (2017)	Tütsülenmiş alabalık	KCl ile kısmi ikamesi	%42
Pires vd. (2017)	Salam	Ticari ikame PuraQ®Arome Na4 ile kısmi değişimi	%34.64
Nielsen vd. (2020)	Somon pate	Saltwell® ile kısmi ikamesi	%22
Hu vd. (2020)	Kurutulmuş fermente sucuk	Azaltma	%20
Xiong vd. (2019)	Sosis	Yenilebilir tuz kaplama kullanılarak homojen olmayan tuz dağılımı (jelatin içeren tuzlu kaplama solüsyonları)	%60-%81
Raybaudi-Massilia vd. (2019)	Pişmiş jambon, hindi göğsü ve şarküteri tipi sosis	SODA-LO® ile kısmi ikamesi	%21.9, %10, %30.7
Munoz vd. (2020)	Füme somon	KCl ile kısmi ikamesi	%25-%50
Demirtas Erol vd. (2021)	Marine edilmiş hamsi	KCl ile kısmi ikamesi	%50
Silva Araujo vd. (2021)	Dondurulmuş keçi sucuğu	KCl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> ile kısmi ikamesi	%17.6

Çizelge 3. Peynirde sodyum azaltımına yönelik çalışmalar

Referans	Ürün	Azaltma stratejisi	% Azaltma
Gomes vd. (2011)	Minas taze peynir	KCl ile kısmi ikamesi	25%
Kamleh vd. (2012)	Hellim peyniri	KCl ile kısmi ikamesi	%30, %50
Karimi vd. (2012)	Feta peyniri	KCl ile kısmi ikamesi+Ultrafiltrasyon	Yüksek duyuşsal kabul edilebilirlik sağlamıştır.
Grummer vd. (2013)	Çedar	KCl ile kısmi ikamesi	%66
Grummer vd. (2013)	Çedar	Hidrolize bitkisel protein / maya özütü karışımı; potasyum bloker tipi toz; disodyum 50 inosinat; %60 disodyum 50 guanilat	
Rodrigues vd. (2014)	Mozzarella	KCl ve monosodyum glutamat ile kısmi ikamesi	%54
Chavhan vd. (2015)	İşlenmiş mozzarella peyniri	KCl ve potasyum bazlı emülsifiye edici tuzlar (potasyum sitrat ve di-potasyum fosfat)	%27
Czarnacka-Szymani ve Jezewska-Zychowicz (2015)	Peynir	Azaltma	%15
Khetra vd. (2016)	Çedar	Hidrolize bitkisel protein ve adenozin-50-monofosfat ile kısmi ikamesi	Kontrol ile eşit düzeyde duyuşsal özellik sağlamıştır.
Baptista vd. (2017)	Prato peyniri	Azaltma	%25
Costa vd. (2018)	Coalho peyniri	KCl ile kısmi ikamesi	%50
Costa vd. (2019)	Minas Padrão peyniri	KCl ile kısmi ikamesi	%25
Mozuraityte vd. (2019)	İşlenmiş peynir ezmesi	Potasyum fosfat veya sitrat ile kısmi ikamesi	%15
Lučan vd. (2020)	Krem peynir	Ticari tuz ikamesi Salut	%35
Diaz-Bustamante vd. (2020)	Costeño Tipi El Yapımı Peynir	Azaltma+pişirme sıcaklığının artırılması	%50, %75

Çizelge 4. Diğer gıda ürünlerinde sodyum azaltımına yönelik çalışmalar

Referans	Ürün	Azaltma stratejisi	% Azaltma
Kremer vd. (2013)	Kremalı domates çorbası konsantresi	Soya sosu	%24.4
Goh vd. (2010)	Domates çorbası	Soya sosu	%33
Goh vd. (2010)	Salata sosu	Soya sosu	%50
Moncado vd. (2015)	Peynirli kraker	Boyut küçültme (1.5 µm))	%25-50
Freire vd. (2015)	Kibrit patates	Tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi (97, 37, %39, % 46, %50 ve 30 ve 26 µm)	%51
Rodrigues vd. (2016)	Kibrit patates	Tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi (60-88 µm)	%69
Mueller vd. (2016)	Pizza	Azaltma	%10
Mueller vd. (2016)	Pizza	KCl ile kısmi ikamesi	%30
Mueller vd. (2016)	Pizza	Tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi	%25
Mueller vd. (2016)	Pizza	Tuzun bir kısmının püskürtülmesi	%25
Silow vd. (2018)	Milföy hamuru	Ekşi hamur (%10)	%30
Rios-Mera vd. (2019)	Etlı sandıç	Mikronize tuz	%33.3
Li vd. (2020)	Yarı katı gıda jeli (bezelye nişastası jeli)	Protein/arap zımkı koaservatlarının homojen olmayan uzaysal dağılımı	%30
Vinitha vd. (2021)	Patates cipsi	Tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi (sprey kurutma ve elektrohıdrodinamik atomize kurutma)	%58.7, %65.3
Vasques vd. (2020)	Kraker	Kaplama	%42.50

İşlenmiş gıdaların üretimindeki artış, hızlı kentleşme, değişen yaşam tarzları ve beslenme düzenleri, diyet örüntüsünde değişime sebep olmuştur (Purdy, 2019). Toplumlar daha fazla işlenmiş (hazır) ve ambalajlı/paketli gıda tüketmeye başlamış ve bu süreç dünyanın dört bir yanındaki insanların, doymuş yağ, trans yağ, şeker ve tuz bakımından yüksek, enerji yoğun gıdaları tüketmesine neden olmuştur (İlgaz ve Yarangümel, 2019). Sanayileşmiş ülkelerde diyet tuzunun yaklaşık %75-80'i işlenmiş gıda tüketimiyle elde edilirken, %5-10'u diyeti oluşturan gıdalarda doğal olarak oluşur ve kalan %10-15 pişirme sırasında veya yemek sırasında eklenen tuzdan gelir (WHO, 2013). Bunun aksine, gelişmekte olan ülkelerde, baharat için kullanılan tuz çok daha önemli bir rol oynamaktadır. Dünya genelinde, işlenmiş gıdaların sodyum içeriği, doğal besinlerden kat kat daha yüksektir. Diyetdeki sodyumun çoğu, unlu mamuller, işlenmiş etler, sebze bazlı yemekler, çorbalar, süt ürünleri, et suyu ve soslar, baharatlar, patates cipsi ve tuzlu atıştırmalıklar gibi işlenmiş gıdalardan gelmektedir (Health Canada, 2018). Sodyum alımının başarılı bir şekilde azaltılabilmesi için, hem işlenmiş gıdalardaki sodyum içeriğinin düşürülmesine hem de tüketici davranışlarında bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaktadır (Arcand vd., 2016).

Tuzun azaltılması, gıdaların işleme özellikleri (işlemeyi ve ürün kalitesini etkiler), duyuşsal kalitesi (lezzet - tüketicinin kabulünü ve satın alma davranışını etkiler) ve raf ömrü (koruma ve kamu güvenliğini etkiler) ile yakından ilişkili olup sodyumun azaltılması genellikle bu faktörleri içeren çok boyutlu bir işlemdir (Mitchell, 2019). Bu nedenle, duyuşsal kaliteyi ve işleme kalitesini etkilemeden gıda ürünlerinin tuz içeriğini düşürmek oldukça güçtür. Son zamanlarda, endüstri ve akademi, gıdalardaki sodyum konsantrasyonunu ve akabinde insan vücudu tarafından sodyum alımını azaltma üzerine yoğunlaşmıştır.

Tuzun azaltılması ürünün duyuşsal algılarında değişikliklere yol açtığı için, işlenmiş gıdalardaki sodyum azalması tüketicinin tercihini ve gıdalardan memnuniyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, tuz azaltımı için gıda reformülasyonu üzerine yapılan çoğu çalışma,

ürünün duyuşsal özelliklerine ve hedonik algıya odaklanmıştır (Inguglia vd., 2017).

Sodyum azaltma işleminin başında sorulması gereken dört temel soru vardır:

1. Ürüne neden sodyum eklenir?
2. Sodyum içeriği nedir?
3. Üründeki sodyum kaynakları nelerdir?
4. Sodyumu azaltmak için ne yapılabilir? (Mitchell, 2019).

Gıda ürünlerinde sodyumun azaltılmasına yönelik mevcut yaklaşımlar, esas olarak gıda formülasyonlarında tuzun kaldırılması ve kademeli sodyum azaltımı, sodyumun tuz ikameleri ile değiştirilmesi, lezzet arttırıcıların kullanımı, sodyum salınımını ve taşınmasını optimize etmek için gıda yapısının yeniden tasarlanması, tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi ve yeni teknolojilerle tuz difüzyonunun geliştirilmesi ve koku-tat interaksyonları gibi stratejileri içermektedir (Inguglia vd., 2017; Hoppu vd., 2017; Bhat vd., 2019).

#### **Tuz miktarının doğrudan azaltılması**

Bu strateji, sodyum klorürün bir formülasyondan değiştirilmeden veya telafi edilmeden çıkarılmasını içermektedir. Bazen bir formülasyondaki tuz konsantrasyonu, işlevini (tat, koruma, doku veya görünüm) karşılamak için gereken miktarı aşabilmektedir. Örneğin, tek sodyum kaynağı ilave tuzdan geliyorsa ve yalnızca tat için eklenmişse, potansiyel olarak tamamen uzaklaştırılabilir. Bununla birlikte, tuzun bir gıda sistemi içinde çok işlevli olduğu durumlarda, ürün kalitesini ve güvenliğini sağlamak için başka bileşenler ve/veya teknolojiler kullanılmalıdır. Çoğunlukla işlenmiş gıdalar (konserve mısır gibi) yalnızca tat etkisi için fazlaca tuzlanır. Bu tür ürünlerde tuz, ürün kalitesinde, güvenliğinde veya performansında olumsuz değişiklikler olmadan kolayca çıkarılabilmektedir. Bu strateji basittir ancak sınırlı sayıda işlenmiş gıda ürünü için geçerlidir (İsrar vd., 2016).

Gıda üreticileri, tadı değiştirmeden bu şekilde sodyum azaltımını ele alma konusunda bir ikileme karşı karşıyadır, çünkü trendler tüketicilerin daha sağlıklı gıdaları tercih ettiğini gösterse de tat en kritik satın alma faktörü olmaya devam etmektedir.

**Tuz miktarının kademeli azaltılması**

Sodyum tüketimini azaltmaya yönelik mevcut yaklaşımlar arasında, tuzun gizlice (tuz konsantrasyonu, tat, koruma, görünüm ve doku dahil tüm işlevlerini elde etmek için gereken miktarı aştığı sürece) zaman içinde kademeli olarak azaltılması yer almaktadır. Bu kademeli yaklaşım nedeniyle, tuzlulukta değişiklik tüketiciler tarafından tespit edilememektedir. Bu yaklaşımdan elde edilen en önemli sonuç, tüketiciler tarafından belirlenen, görünür organoleptik farklılıklar olmaksızın ürünün algılanan tuzluluğunun azalmasıdır. Bu stratejinin, birçok işlenmiş gıdanın sodyum içeriğinin üç yıl içinde %20-30 oranında azaldığı Birleşik Krallık'ta başarılı olduğu gösterilmiştir (Inguglia vd., 2017).

Bu yöntem, sodyum tüketimini azaltmaya yardımcı olabilese de bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Her şeyden önce, zaman alıcı bir yaklaşımdır ve yatırım gerektirir. Ek olarak, etkili olabilmesi için endüstri çapında bir ölçekte uygulanması gerekir. En önemlisi de büyük ölçüde tüketicinin daha az tuzlu ürünlere adaptasyonuna dayanır (Inguglia vd., 2017). Daha az tuzlu bir tada adaptasyon sağlanabilse bile, genel olarak, ürünü tatsız hale getirmeden, sadece sınırlı miktarda tuz gerçekçi bir şekilde azaltılabilir. Duyusal ve mikrobiyolojik kaliteye dayalı ürünler için bu yaklaşımın doğal bir sınırı olacaktır. Bu sınırlara ulaşıldığında ve daha fazla sodyum azaltımına ihtiyaç duyulduğunda, farklı bir strateji kullanılmalıdır (Silow vd., 2016).

**Tat geliştiricilerin veya değiştiricilerin kullanılması (Lezzet arttırıcıların kullanılması)**

Tat arttırıcılar veya değiştiriciler kullanılarak gıdaların tat profilini değiştirmeden sodyum oranı azaltılabilmektedir. Bu maddeler, kendi başlarına tuzlu bir tada sahip olmayan, ancak sodyum klorür ile birlikte kullanıldıklarında tuz tadı ve yoğunluk beklentileriyle eşleşen gelişmiş bir tuzlu lezzet sağlarlar. Bu şekilde %30-%50 oranında sodyum azaltımının mümkün olduğu öngörülmektedir (Israr vd., 2016)

Tat arttırıcılar, gıdanın tadını doğrudan değiştirmeyen, ağız ve boğazdaki tat reseptörlerini

aktive ederek, tuzu azaltmaya, tuzun azaltılması sonucu ortaya çıkan lezzet kaybını telafi etmeye ve lezzeti arttırmaya yardımcı olur. Bazı lezzet arttırıcılar umami tadı algılayan reseptörleri uyararak gıdanın lezzet dengesini değiştirir ve bu tat düşük sodyumlu ürünlerin lezzetini artırır (Silow vd., 2016). Bu artışı, büyük miktarlarda doğal olarak oluşan glutamik asit içeren bezelye ve domates gibi bileşenlerle veya glutamik asit ile sinerji içinde işlev gören nükleotidler gibi diğer güçlendiricileri içeren Shitake mantarları ile elde etmek mümkündür (dos Santos Harada-Padermo vd., 2021).

Pratikte, monosodyum glutamat (MSG), maya özütleri, hidrolize bitkisel proteinler (HVP), peptidler, acı engelleyiciler, yüksek oranda nükleotid içeren bileşenler (disodyum guanilat, disodyum inosinat), otlar ve baharatlar, soya sosu, glisin ve mentol, mentil laktat ve diğer yan ürünler gibi tuz arttırıcı türleri mevcuttur (Nakagawa vd., 2014; Inguglia vd., 2017; Ilgaz ve Yarangümeli, 2019).

Bu bileşenler, (1) birincil tat, (2) tat iyileştirme veya (3) spesifik tada dayalı bir tat profili oluşturmak için kullanılabilir. HVP ve bazı maya ürünleri, örneğin tat profiline hem temel tat hem de zenginleştirme olmak üzere iki boyut kazandırırken, monosodyum glutamat, guanilat ve inosinat ve diğer tuzlar, tat profilinin sadece bir alanında, yani tat arttırmada etkilidirler ve bu tür bileşenlerle birlikte üründe tuzun kullanılması gerekmektedir (Mitchell, 2019).

**Mineral tuzların kullanılması**

Potasyum klorür, potasyum sülfat, kalsiyum klorür, magnezyum sülfat, magnezyum klorür, konsantre süt mineralleri ve indirgenmiş sodyum deniz tuzları dahil olmak üzere sodyum klorür yerine başka mineral tuzların kullanılması mümkündür. Genelde bu tuzların tadı tek başına kullanılmaya uygun olmadığı için farklı oranlarda karışımlar halinde kullanılabilirler, ancak olumsuz tatları sıfırlamak veya dengelemek üzere karışım oluşturmak zor bir süreçtir (Hoppu vd., 2017).

Ticari olarak temin edilebilen mineral karışımlarının çoğu, genellikle acılığı veya metalik tatları maskeleyen için başka bileşenler içerir veya karışımın umami kalitesini arttırmak için glutamat, maya özleri veya aromalar gibi tat arttırıcılar kullanılır (Pedro ve Nunes, 2019).

Ticari olarak temin edilebilen tuz ikame maddelerinin mineral tuz bileşimi önemli ölçüde değişiklik gösterir ve bu maddelerin tat, koruma ve işlevselliği her zaman eşdeğer sodyum indirgeme seviyelerinde karşılaştırılmalıdır. Bu farklı kaynaklar arasındaki temel farklar, potasyum, magnezyum ve kalsiyum içeren katyonların mutlak konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır (katyon /anyon dengesi ve eser elementler). Bazı mineral kaynakları çok sayıda katyon ve farklı anyon içerir ve bu farklılıklar, depolama stabilitesi, tat, koruma ve gıda işlemedeki fonksiyonellik derecelerini etkiler (Mitchell, 2019).

Mineral tuzlar, özellikle istenmeyen mikroorganizmaların büyümesinin kontrol edilmesinde fayda sağlamaktadır. Genel olarak potasyum klorürün, molar bazda ikame edildiğinde sodyum klorür ile mikrobiyal büyüme üzerinde benzer bir etkiye sahip olduğu kabul edilmiştir. Farklı tuzların ozmotik etkilerinin ağırlıklarına değil molar konsantrasyonlarına bağlı olduğuna da dikkat çekilmiştir (Reißner vd. (2019).

Reißner vd. (2019) yaptıkları çalışmada, sodyum azaltımının, hem hamur hem de ekmeğe özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. %50 NaCl, sistematik olarak farklı KCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> kombinasyonları ile ikame edilmiştir. Bulgular, genellikle iki değerlikli katyonların, hamur ve ekmeğe özelliklerini tek değerlikli katyonlardan daha fazla etkilediğini göstermiştir. Kalsiyum içeriği arttıkça mayalı hamurların sertliğinin azaldığını, ekmeğe içi yapısı, ekmeğe hacmi ve duyuşal algısının da iki değerlikli katyonlardan etkilendiğini ve bu durumun zayıflamış bir protein ağından kaynaklandığını ifade edilmiştir. Bunun aksine, potasyumun, hamur sertliği ve uzayabilirliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Hamur sertliği, ekmeğe içi

yapısı ve kabuk sertliği açısından ürün kalitesinin referans ile karşılaştırılabilir olduğu ve duyuşal özellikleri olumsuz yönde etkilemeden %50'ye kadar sodyum klorür indirgemesinin uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca küçük miktarlarda magnezyum klorür uygulanması da olumlu sonuçlar vermiştir.

Munoz vd. (2020), sodyum azaltma ve tütsüleme sisteminin, füme somon balığının kalitesi ve güvenliği üzerine etkisini inceledikleri çalışmada NaCl'yi %25 ve %50 (molar ikame) oranlarında KCl ile ikame etmişler ve aynı zamanda iki tütsüleme işlemi (doğal ahşap ve sıvı duman/sıcak ve soğuk tütsü) ve iki farklı tütsüleme sıcaklığının (18-19°C ve 50°C) etkilerini de kombinasyon halinde incelemişlerdir. Füme somon örneklerinde, fizikokimyasal, duyuşal ve mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, uygulanan işlemler arasında fizikokimyasal özellikler açısından önemli bir farklılık olmadığını göstermiştir. %50 KCl ile ikame edilen tütsülenmiş somon örneklerinin, %25 KCl ile ikame edilen örneklere göre biraz daha acı bir tada sahip olduğu ancak %25 KCl ile ikame edilen örnekler ile referans örnek (indirgenmemiş Na içeriğine sahip olan örnek) arasında fark olmadığı tespit edilmiştir. Mikrobiyolojik değerlendirme, 2 haftalık raf ömrünün, öngörülebilir depolama sıcaklıkları (8°C'ye kadar) dikkate alınarak, AB yönetmeliğinin gerçekleştirilmesi açısından uygun ve güvenli olacağını göstermiştir. Araştırmacılar, NaCl'nin KCl ile ikamesinin (%50'ye kadar) deniz ürünleri endüstrisinde, somon füme hazırlanmasında, Na seviyelerini düşürmek için uygulanabileceğini ve böylece daha sağlıklı ve güvenli bir ürün eldesi ile işlenmiş ürünlerde evrensel Na azaltma politikasına ve uzun vadeli toplumsal sağlık yararlarına katkıda bulunabileceğini ifade etmişlerdir.

Costa vd (2018) ise yaptıkları çalışmada düşük sodyum içerikli peynir üretmişler ve NaCl'nin KCl ile kısmi ikamesinin (100:0; 70:30; 50:50; ve 30:70 (NaCl: KCl)) peynirin özellikleri üzerine etkileri 60 gün boyunca soğuk depolamada incelenmiştir. Kısmi sodyum ikamesinin, peynirlerin fizikokimyasal özelliklerini, pH'yı, proteoliz



indekslerini, su aktivitesini ve erime davranışlarını etkilemediği ancak proteoliz, sertlik ve çiğneme özelliklerinin depolama süresinden önemli ölçüde etkilendiği bulunmuştur. Peynirlerin mineral bileşiminde ve yağ asitleri profilinde önemli farklılıklar gözlenmiştir. Peynir örnekleri arasında, koliform (30°C'de ve 45°C'de), filamentli mantarlar ve mayalar ile *Staphylococcus aureus* sayılarında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır. Duyusal analiz testi sonucunda ise %50'den yüksek ikame seviyeleri için daha düşük kabul puanları gözlenmiştir. Bu nedenle, NaCl'nin, KCl ile %50'ye kadar kısmi ikamesi ile Coalho peynirindeki sodyum azaltımının, bu ürün için uygun bir alternatif olabileceği açıklanmıştır. Rodrigues vd. (2016), kibrit patateslerde sodyum oranını düşürmek amacıyla NaCl, KCl ve monosodyum glutamat karışımından oluşan 117 µm boyutlarında bir tuz kullanmış ve sodyum içeriğinin ürünün duyusal kalitesini etkilemeden %69'a kadar azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

#### İkame maddelerinin kullanılması

Ticari olarak temin edilebilen tuz ikamelerinin kullanılmasıyla eklenen tuzun tamamen değiştirilmesi mümkündür. Fiziksel olarak değiştirilmiş sodyum klorür kristalleri, mineral tuzları, fosfatlar veya tuz ikamesi için tek durak bir çözüm sağlayan mineral tuzları veya tat arttırıcı/düzenleyici bileşenlerin karışımlarını kullanan birçok ticari tuz ikamesi mevcuttur. Bu ticari tuz ikame bileşenleri, tuz gibi işleme sırasında kullanılmak üzere tasarlanmış farklı fiziksel biçimleri içerir (nano kristaller, daha ince tuz kristalleri, ko-kristaller, aglomeratlar, harmanlar ve bileşenlerin karışımları). Bu durum, eklenen tüm sodyum klorürün bu tuz ikameleri ile değiştirilebileceği anlamına gelmez. Genellikle tuz ikameleri de sodyum klorür içerir, ancak bu stratejiyi kullanırken %50-%60 tuz azaltımı mümkündür. Bu kombinasyonlar, bir formülasyona eklenen tüm tuzların bire bir ikamesi olarak tasarlandıklarından ürün geliştirme sürecini çok daha hızlı hale getirebilir (Mitchell, 2019).

Son yıllarda Pansalt®, Sub4salt®, Lo Salt®, Saltwell® ve SODA-LO® Salt Microspheres gibi daha düşük sodyum içerikli (sodyum klorürden

yaklaşık %35 daha düşük) tuz karışımları test edilmiş ve ticarileştirilmiştir (Petit vd., 2019).

Raybaudi-Massilia vd. (2019) yaptıkları çalışmada, pişmiş jambon, hindi göğsü ve şarküteri tipi sosislerde, NaCl'nin ticari tuz ikamesi olan SODA-LO® ile kısmen azaltılmasının (%50'ye kadar), eğitilmiş panelistler tarafından değerlendirilen duyusal özellikleri ve et ürünlerinin mikrobiyolojik özelliklerini etkilemediğini bildirmişlerdir. Ancak NaCl ile karıştırılmadan sadece SODA-LO® kullanıldığında, özellikle yüksek nemli ürünlerde tuzluluk algısından ödün verilebileceği belirtilmiştir.

Soteras vd. (2019) yaptıkları çalışmada sodyum oranı azaltılmış kuzu etli burger üretmek amacıyla yağ ile karıştırılmış SODA-LO® kullanmış ve ürünün tuzlu tadını, teknolojik özelliklerini ve tüketici tarafından kabulünü değiştirmeden sodyum içeriğinin %14.75 oranında azaldığı bildirilmiştir.

Nielsen vd. (2019) sodyum içeriği azaltılmış somon pate üretmek amacıyla yeni bir formülasyon üzerine yoğunlaştıkları çalışmada, NaCl'nin kısmi ikamesi olarak sodyum klorür ve potasyum klorür karışımı içeren, doğal olarak oluşan bir tuz olan Saltwell®'i kullanmışlardır. Üç farklı sodyum konsantrasyonuna sahip somon balıklarında, mikrobiyolojik, duyusal ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiş ve NaCl'nin %80'inin Saltwell® ile ikamesinin, ürünün mikrobiyolojik ve besleyici nitelikleri korunurken sodyum içeriğinde %22'lik bir azalma sağladığı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, mikrobiyolojik güvenliğin yanı sıra önemli duyusal ve fizikokimyasal özelliklerin azaltılmış sodyum oranlarında korunduğunu ve dolayısıyla kalitenin orijinal ürüne benzer olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Dolayısıyla Saltwell® tuz karışımının, kalite ve güvenlikten ödün vermeden sodyum içeriği azaltılmış deniz ürünleri üretiminde sodyum klorüre uygun bir alternatif olduğu ifade edilmiştir.

Pires vd. (2017), yaptıkları çalışmada farklı sodyum indirgeme seviyelerinin (kontrol (%2 NaCl) ve NaCl'nin sırasıyla ticari bir ikame olan

PuraQ®Arome Na4 ile %20, %40 ve %60 oranlarında ikamesi), salamin, fizikokimyasal özellikleri, mikroyapısı ve duyuşsal kabulü üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, sodyum içeriğinde %43.27'lik (%60 PuraQ®Arome Na4 ile ikamesi) bir azalmanın, ürünün mikroyapısını, emülsiyon stabilitesini ve dokusunu etkileyerek tüketicinin kabulünde bir azalmaya neden olduğunu bunula birlikte sodyum içeriğinin %34.64 (%40 PuraQ®Arome Na4 ile ikamesi) oranında azaltılmasının, salamların özelliklerini etkilemediğini göstermiştir. Daha sağlıklı bir ürün elde etmek ve duyuşsal kaliteyi korumak için test edilen koşullarda %40 tuz ikamesinin uygun olabileceği açıklanmıştır.

Luan vd. (2020) krem peynirde, sodyum içeriğinin indirgenmesi üzerine yaptıkları çalışmada %100 NaCl (kontrol), %65'e indirgenmiş NaCl, KCl ile ikame edilmiş %35 NaCl ve aromalı maskeleme bileşiği içeren KCl bazlı tuz karışıımı Salut® olmak üzere dört farklı sodyum içeriğine sahip krem peynir üretmişler ve düşük sodyumlu bu krem peynirlerin, fizikokimyasal özellikleri, sürülebilirliği ve tüketiciden tarafından kabulünü değerlendirmişlerdir. Sodyum azaltımının, krem peynirin, protein, yağ ve nem içeriği, su aktivitesi, asitliği ve krem rengini etkilemediği bulgulanmıştır. Bununla birlikte, farklı tuz muamelesinin, mineral bileşimi, yayılabilirlik/sürülebilirlik ve duyuşsal özellikleri önemli ölçüde etkilediği saptanmıştır. Tuzun doğrudan azaltıldığı peynir örnekleri, çok asidik ve tuzlu değil ve yeterince lezzetli olarak algılanmazken, potasyum klorür içeren numuneler acı olarak algılanmıştır. Tat, sürülebilirlik ve genel beğenmede bir farklılık gözlemlenmesine rağmen, tüm krem peynir numuneleri iyi bir tüketiciden kabulü göstermiş ve acı maskeleme maddeleri içeren potasyum tuzu karışıımından oluşan ticari tuz ikamesi Salut® içeren peynirin, kontrole kıyasla en yakın hedonik puana sahip olduğu gözlenmiştir. Mevcut araştırma, tüketicinin kabulünden ödün vermeden, besin açısından değerli potasyum bazlı bir tuz karışıımı kullanılarak, krem peynirde sodyum içeriğinin %35 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. İncelenen örneklerde peynirin sürülebilirliğinin zayıf olduğu ve bu nedenle yüksek yayılabilirliğe

sahip krem peynirin geliştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Diğer sodyum tuzları için fonksiyonel ikame bileşenleri olarak potasyum bikarbonat, sistein, glukono-delta-lakton, monokalsiyum ve dikalsiyum fosfat-kalsiyum asit pirofosfat, fonksiyonel proteinler, gluten güçlendirici enzimler, potasyum fosfatlar, potasyum sitrat, kalsiyum fosfat, deniz yosunu, laktatlar — potasyum-, sodyum- ve kalsiyum-laktat gibi maddeler de kullanılabilir (Kloss vd. 2015; Ilgaz ve Yarangümel, 2019).

Mozuraitye vd. (2019), işlenmiş peynir ezmesinde sodyum azaltımı ve bu işlemin peynirin fizikokimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, emülsifiye edici disodyum fosfat tuzunun %15'inin potasyum fosfat veya sitrat ile ikame edilmesinin, nihai ürünün pH, viskozite ve reolojik özelliklerini etkilemediğini, tüketiciden tarafından büyük çoğunluğunun kabul edilebilir olarak değerlendirildiğini ve dolayısıyla sodyum tuzlarının potasyum tuzları ile ikame edilmesiyle sodyumun %15'inin azaltılabileceğini göstermiştir.

### **Tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi**

Tuzun fiziksel özellikleri tuzluluk algısını etkilemektedir. Tuzun, partikül boyutu, morfolojisi ve uzamsal yapısı gibi fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi, tuzun ağızda çözünmesini ve dağılım oranını iyileştirebilir ve böylece sodyum içeriğinin azaltılmasında etkili bir yaklaşım olabilir (Sun vd., 2020).

### **Partikül boyutu**

Tuz algısındaki artış, tuz kristallerinin boyutuna bağlıdır. Tuz partiküllerinin küçük olması, reseptörler tarafından algılanan tuzluluk oranını arttırmaktadır. Bu durum, daha küçük tuz partiküllerinin daha büyük bir yüzey alanına sahip olmasından kaynaklanmakta ve böylece tuz tükürükte daha fazla çözünmekte ve tat reseptörleri ile etkileşimi artmaktadır (Freire vd., 2015). Vinitha vd., (2021) tarafından yapılan çalışmada, nano boyutlu tuz partiküllerinin yüksek çözünme hızı nedeniyle daha yüksek tuzluluk potansiyeli gösterdiği tespit edilmiştir. 60 µm ve 88 µm'lik iki küçük partikül boyutundan oluşan bir tuz karışıımı, 117 µm partikül boyutuna sahip

tuzla karşılaştırıldığında duyu kaliteyi önemli ölçüde değiştirmeden %69'luk bir sodyum indirgemesi sağlamıştır (Rodrigues vd., 2016). Freire vd. (2015), tuzun partikül boyutunun, kibritle patateslerin tuzluluk algısı üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, 383 µm'lik tuz partikülleri ile eşdeğer bir tuzluluk elde etmek için, 97, 37, 30 ve 26 µm'lik katı tuzlar kullanmışlar ve azalan partikül boyutuna bağlı olarak kibritle patateslerde sırasıyla %39, %46, %50 ve %51 oranında tuz azaltımının sağlandığını bulmuşlardır (Freire vd., 2015).

Nano-sprey kurutma ile üretilen katı tuzların partikül boyutu, ticari tuzdan 1000 kat daha küçük olup yaklaşık 1 µm'dir. Bu yöntemle elde edilmiş nano boyuttaki tuzun peynirli krakerlere ilave edilmesi, tuzluluktan ödün vermeden tuz konsantrasyonunda %25–50 oranında bir düşüş sağlanmış ve tüketicilerin satın alma tercihini %25 oranında artırmıştır (Moncada vd., 2015). Püskürtmeyle kurutmanın yanı sıra, elektrohidrodinamik atomize kurutma (EAD) yöntemi de tuzların boyutunu değiştirmek amacıyla uygulanmış ve elde edilen 520 nm boyutundaki tuzlar, daha düşük konsantrasyonlarda daha yüksek tuzluluk potansiyeli göstermiş ve sodyum içeriğinde %65'e kadar bir azalma sağlanmıştır (Vinitha vd., 2021).

### **Morfoloji**

Tuzun kristal morfolojisinin değiştirilmesi, tuzun çözünmesini hızlandırmak, tuzluluk algısını arttırmak ve gıdalarda kullanılan tuz miktarını azaltmak için kullanılabilir. Kristallerin çözünme hızının, önemli ölçüde dairesellik, en-boy oranı ve alan/çevre oranı gibi morfolojilerine bağlı olduğu bulunmuştur (Emorine vd., 2014). Ticari olarak temin edilebilen tuzlar, yeraltı kaya tuzu yataklarından, deniz suyundan ve doğal tuzlu sudan elde edilmektedir. Kaya tuzları küp şeklindedir ve pürüzsüz bir yüzeye, yüksek yoğunluğa, daha az çatlak ve gözeneğe sahiptir ve bu nedenle çözünme hızı yavaştır ve dolayısıyla tuzluluğu düşürmektedir (Quilaqueo ve Aguilera, 2015). Bununla birlikte, deniz tuzları, düzensiz, pürüzlü yüzey, yumrulu tuz kümeleri olan ve çözüldüklerinde küçük parçalara ayrılma eğiliminde olan kümelenmiş tuzlardır. Bu tuzlar,

büyük kristallere tutunmuş küçük kristallerle, küçük aglomere kristallerden oluşur (Quilaqueo vd., 2015). Deniz tuzları, yüksek gözenekliliğe ve daha yüksek çözünme oranına sahip olduğundan tuzluluk dereceleri kaya tuzlarından daha yüksektir. Daha yüksek tuzluluğa sahip başka bir deniz tuzu türü ise, daha geniş bir yüzey alanına ve düşük yoğunluğa sahip olan pul tuzudur. Bu özellikleri onlara daha iyi çözünürlük sağlamak ve kübik tuzlarla karşılaştırıldığında et ürünlerinin su ve yağ bağlama özelliklerini iyileştirebilmekte ve pişirme kayıplarını azaltabilmektedirler (Inguglia ve ark., 2017). Ayrıca, kübik olmayan ve aglomere kristaller, yüksek tuzluluk algısı ile bağlantılı olan yüksek bir çözünme hızı gösterir (Quilaqueo ve ark., 2015). İçi boş bir piramit yapısı ve nispeten pürüzlü bir yüzeye sahip olan piramidal deniz tuzları daha az daireseldir ve bu durum artan yüzey alanı, daha hızlı çözünme hızı ve gelişmiş tuz algısı ile sonuçlanmaktadır.

### **Uzaysal yapı (Spatial structure)**

Tuz kristallerinin farklı uzaysal yapıları, evaporasyon işleminin proses koşullarının kontrol edilmesiyle elde edilebilir. Geleneksel kurutma ve öğütme yöntemi ile karşılaştırıldığında, püskürtmeli kurutma, katı tuz parçacıklarının yapısını değiştirme ve içi boş tuz kristalleri üretme açısından etkili bir teknolojidir (Aaltonen vd., 2009) İçi boş bir yapıya sahip tuz kristalleri, tat reseptörleri için daha uygun olup çözünme oranını iyileştirir. Daha düşük tuz içeriğinde istenen tadı sağlar ve sodyum alımını azaltmak için kullanılabilir. NaCl'nin, KCl ile ikame edilmesi ve püskürtülerek kurutulması ile üretilen tuz partiküllerinin pürüzlü ve içi boş bir yapıya sahip olduğu ve daha yüksek tuzluluk sağladığı tespit edilmiştir (Chindapan vd., 2018).

Püskürtmeli kurutma ile birlikte polisakarit ilavesi, tuz kristallerinin uzamsal yapısını değiştirmiş ve içi boş tuz mikro küreleri üretmek amacıyla kullanılmıştır. NaCl'nin polisakaritlerle püskürtülerek kurutulması ile, NaCl kristallerinin büyük çoğunluğunun elde edilen mikrokürelerin yüzeyinde açığa çıktığı ve bu durumun kullanılabilirliklerini büyük ölçüde geliştirdiği ve tuzluluk algısını arttırdığı tespit edilmiştir (Yi vd., 2017).

**Sodyum salınımını ve taşınmasını optimize etmek amacıyla gıda yapısının yeniden tasarlanması veya tat kontrastlarının yaratılması**

***Katı gıdalar için yapı tasarımı***

Tuz, katı gıdaların lezzetinde, kalitesinde ve yapısında anahtar rol oynar ve bu nedenle katı gıda ürünlerinde sodyumun azaltılması ve istenen tuzlu tadın sürdürülebilmesi büyük bir zorluktur. Ekmek hamurunun bileşimindeki tuz, lezzet verme, maya aktivitesini kontrol etme, gluten ağını güçlendirme ve dolayısıyla hamurun gaz tutması ve son olarak pişirilmiş üründeki su aktivitesinin kontrolü ile bozulmanın azaltılarak raf ömrünün korunmasında oldukça önemlidir (O'Sullivan, 2020). Tipik katı gıdalardan biri olan ekmeğin, dünya çapında özellikle batı ülkelerinde temel gıda olarak tüketilmekte ve günlük tuz alımının ortalama %30'unu oluşturan gıdalardaki ana sodyum kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Sun vd.,2020).

Tat kontrastı, tat algısını uyumlu hale getirmek için kullanılan bir teknolojidir. Aynı zamanda tuzlu tat yoğunluğunu ve tüketicinin kabulünü korurken tuzu azaltma konusunda nispeten yeni bir stratejidir (Noort vd., 2012). Tat kontrastı, katı gıdalara yüksek tuzlu alanların dahil edilmesi veya tuzların homojen olmayan uzamsal dağılımının oluşturulmasıyla gerçekleştirilebilir (Israr vd., 2016).

Ekmek hamurunda, iri taneli tuzların kullanılması tuzlu tadı artırabilmektedir. Konitzer vd. (2013), ekmekte iri taneli NaCl kullanımının tuzluluğu önemli ölçüde artırdığını ve %25 oranında tuz azalmasına olanak tanıdığını belirtmişlerdir. İri taneli NaCl kullanımı, ekmekte homojen olmayan tuz dağılımına neden olmakta ve yüksek tuzlu alanlar yaratarak tuzlu tadı iyileştirmektedir. Bu durum kullanılan sodyum konsantrasyonunda, duyu kontrastının artmasına ve hızlandırılmış tuz tadı algısına olanak tanımaktadır. Başka bir çalışmada ise iri taneli NaCl (0.4-1.4 mm) tuzunun pizza hamuruna ilavesinin, hamurda yüksek tuzlu alanlar yarattığı ve %25 oranında sodyum azalması sağladığı bulgulanmıştır (Mueller vd., 2016). Homojen olmayan tuz dağılımı, doku niteliklerinde bir kayıp olmaksızın sodyum

içeriğinde %30'luk bir azalma sağlamıştır (Li vd., 2020).

Yapılan çalışmalar, enkapsüle tuzların kullanımının da tuz içeriğini azaltmak için etkili bir strateji olduğunu göstermiştir (Noort vd., 2012). Noort vd. (2012), yaptıkları çalışmada yağ kullanarak (kaplama materyali) enkapsüle ettikleri tuzu, ekmeğin hamurunda kullanmış ve enkapsüle tuzların, ekmeğin tuz içeriğinde %50'ye varan bir azalma sağladığını açıklamışlardır. Bununla birlikte, tuzluluğun tuz kapsüllerinin boyutuna bağlı olduğu bulgulanmıştır. Daha küçük boyuta sahip enkapsüle tuzlarla karşılaştırıldığında, daha büyük boyuttaki enkapsüle tuzların, tuzluluğu önemli ölçüde artırdığı ancak tüketicinin beğenisini azalttığı belirtilmiştir (Noort vd., 2012). Ayrıca, kaplama işlemi sırasında tuz çözünmesinin kinetik çalışması, enkapsülasyon işleminin, ekmeğin içindeki yüksek tuzlu noktaları korumanın etkili bir yol olduğunu göstermiştir (Diler vd., 2016). Kullanılan kaplama materyalleri, tuzun çözünmesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Balmumunun, tuz tanesinin çözünmesini önlemede yağa göre daha etkili olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, tuz partiküllerinin çözünmesini geciktirmek amacıyla farklı kapsülleme materyallerinin etkisi üzerine daha derin çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, ekmeğin üretiminde bir artan bir azalan sırada tuz konsantrasyonları kullanılarak katmanlar elde edilmiştir. Bu tür yapılandırılmış ekmeğin, aynı tuzluluk seviyesinde tuz içeriğini, kontrole kıyasla %28 oranında azalttığı bulgulanmıştır (Noort vd.,2010). Genel olarak, heterojen tuz dağılımı, kabul edilebilirlik kaybı olmadan tuzlulukta önemli bir artış sağlamaktadır ve bu durum gıda ürünlerinde tuz oranını azaltmada güçlü bir yaklaşımdır.

Ekmek gibi katı gıdalarda tuz azaltımı, belirli gözenekli yapıların tasarlanmasıyla da sağlanabilir. Bunun nedeni, ekmeğin içinin gözenekli yapısının çigneme sırasında sodyum salınımını ve dolayısıyla tuzluluğunu etkilemesidir. İnce gözenekli yapıya sahip ekmeğe kıyasla iri gözenekli ekmekte, sodyum salınımının önemli ölçüde daha hızlı olduğu ve tuz algısını arttırdığı

tespit edilmiştir. Bu nedenle, ekmek içinin gözenekli yapısının uygun şekilde tasarlanması, ekmeğin tuz içeriğinin azaltılması konusunda yeni bir strateji olarak kullanılabilir (Pflaum vd., 2013).

#### **Emülsiyon bazlı gıdalar için yapı tasarımı**

Emülsiyonlar, bir sıvının başka bir sıvı ortamda (sürekli faz) damlacıklar (dağılan faz) halinde dağıldığı, iki karışmayan sıvıdan oluşan sistemlerdir (Berton-Carabin vd., 2018). Emülsiyonlarda, sürekli ve dağılan fazı yaygın olarak su ve yağ oluşturmaktadır. Sodyum suda çözüldüğünden, sodyumun gıda emülsiyonlarında salınımını lokalize ve manipüle etmek oldukça zordur. Bununla birlikte, dikkatli yapı tasarımı ve reformülasyon, emülsiyon bazlı gıdalardaki tuzun azaltılmasını mümkün kılmaktadır.

Su fazı ve yağ fazı, emülsiyon esaslı gıdaların en önemli yapısal birimleridir. Yağ fazı içeriğinin değiştirilmesi tuzluluk algısını etkilemektedir. Yağ içeriğinin tuzluluk üzerindeki etkisine ilişkin iki çelişkili varsayım önerilmiştir. İlk varsayımda, hidrofobik bileşikler olarak yağların dil yüzeyini kaplayabildiğini ve sodyum transferine karşı fiziksel bariyer işlevi görerek tuzluluğun azalmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, yağın bariyer etkisi tam olarak gösterilememiştir. Diğer varsayım, yağların sodyum tadı reseptörünü hassaslaştırarak tuzluluğa karşı daha yüksek bir tepkiye ve dolayısıyla daha yoğun bir tat algısına yol açabileceğini belirtmektedir (Sun vd., 2020). Ek olarak, yağ türünün emülsiyon bazlı gıdaların tuzluluğunu, viskozitesini ve genel tadını önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur (Cerrato Rodriguez vd., 2017). Tuzu azaltılmış emülsiyon bazlı gıdalar tasarlanırken bu durum dikkate alınmalıdır. Son zamanlarda, yağın tuzluluk üzerindeki etkisinin tuz konsantrasyonuna bağlanabileceği öne sürülmüştür. Düşük tuz konsantrasyonlarında, su fazında artan yağ içeriği ve tuz konsantrasyonu ile tuzluluk artmaktadır. Yüksek tuz konsantrasyonlarında ise, yağ adhezyonu tuzluluğun azalmasında önemli bir etkiye sahiptir (Lima vd., 2018).

Genel olarak, aynı tuz konsantrasyonunda, su içinde yağ (O/W) emülsiyonu, yağ içinde su (W/O) emülsiyonundan daha tuzlu olarak

algılanacaktır (Kilscat ve Den Ridder, 2007) O/W emülsiyonu için tuz, dış sulu fazda çözündürülür ve bu nedenle, reseptör hücreleri tarafından doğrudan algılanabilir. Bununla birlikte, W/O emülsiyonu için tuz, iç sulu fazda lokalizedir ve reseptörlerle doğrudan temasa izin vermez. Bununla birlikte, O/W emülsiyonunun ve W/O emülsiyonunun tuzluluk değerlendirmesi, formüllerine ve emülsiyon yapısının oral işleme sürecinde transformasyonuna göre özel analiz gerektirir. Ayrıca, gıda sınıfı emülsiyon jelleri, ısıtma, asitleştirme ve enzim faaliyeti gibi yaygın gıda işleme faaliyetleriyle katı benzeri bir yapı gösterir. Bu tür jellerin varlığı, tuzun azaltılması nedeniyle zayıflamış matrisi kurtarmakta ve daha yoğun bir ağ sergilemektedir (de Souza Paglarini vd., 2021).

Çift emülsiyonlarda (W/O/W) tuz, iç sulu fazda, dış sulu fazda veya hem iç hem de dış fazlarda çözülebilir. Bu nedenle, tuz içeriğine ve konuma bağlı olarak değişen derecelerde tuzluluk üretmek mümkündür. En yüksek tuzluluk, tüm tuz iç sulu fazda çözüldüğünde elde edilmiştir. Ayrıca, tek emülsiyon ile karşılaştırıldığında, W/O/W emülsiyonu, tuz yalnızca iç sulu fazda lokalize ise, çok daha gelişmiş tuzluluk algısı sergiler (Kilscat ve Den Ridder). Bununla birlikte, çift emülsiyon genellikle tuzluluk algısını etkileyebilecek yüksek bir viskoziteye sahiptir. Bu nedenle, tuz indirgeme için çift emülsiyon tasarlanırken viskozitenin etkisi dikkate alınmalıdır.

#### **Yarı katı gıdalar için yapı tasarımı**

Katı ve sıvı gıdalara ek olarak, yarı katı jel gıdalardaki tuzun azaltılması kritik bir zorluk olmaya devam etmektedir çünkü tuz, yarı katı jel gıdaların tekstürü ve yapısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu durum tuz salınımı ve tuzluluk algısını etkilemektedir (Lima vd., 2018). Peynir, jel yapısının oluşumunu belirleyen ana bileşenlerin su, protein ve yağ olduğu tipik bir lipoprotein matrisidir (LPM). Bileşenlerin tek tek jel ağ yapısı ve ilgili tuzluluk algısı üzerindeki etkilerini anlamak oldukça önemlidir (Koliandris vd., 2010).

Genel olarak, lipoprotein matrislerinde su, protein ve yağ gibi ana bileşenler jel yapısının oluşumunu

belirler ve bu nedenle tuzluluk algısını etkiler. LPM model ürünler için daha düşük kuru madde içeriğinde, daha yüksek sodyum salınımı bulunmuştur. Bu durum, yüksek su içeriğinden dolayı tuzun çözünme ve difüzyon hızının artmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek protein içeriği, daha yüksek bir jel kuvvetine yol açar ve peynirdeki tuz salınımını sınırlar. Yağ içeriğinin artırılması, peynir matrisinin daha gevşek ve daha gözenekli bir mikro yapısı ile sonuçlanır ve tuzun salınmasını kolaylaştırır (Sun vd., 2020).

### **Alternatif tekniklerle tuz difüzyonunun artırılması**

Ultrason ve yüksek basınç gibi termal olmayan teknolojiler, işlenmiş gıdalardaki sodyum içeriğini azaltmak için yeni bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Inguglia vd., 2017). Bu yöntemlerin prensibi, mekanizmaları aracılığıyla kütle transferini arttırmalarıdır. Bu teknolojiler, sodyumun et matrisinden difüzyonu ve salınması, proteinler ile tuz iyonları arasındaki etkileşim ve duysal algılar gibi çeşitli faktörleri etkileyerek, sodyum indirgeme uygulamasında potansiyel olarak kullanılmıştır (Bhat vd., 2019). Genelde patojen mikroorganizmaların gelişmesini önlemek için kullanılan yüksek basınç teknolojisi, tuz seviyesi azaltılan ürünlerin fiziksel, tekstürel ve tat özelliklerini korumak için de kullanılabilir. Basınç uygulamasıyla sodyum iyonları ve protein arasındaki etkileşimler değişmekte ve böylece dil üzerindeki tat reseptörlerine sodyum girişi artmaktadır (Bhat vd., 2019). Tuzlama işlemi sırasında ultrases tekniğinin kullanılması ise tuzun ette düzgün bir şekilde yayılmasını sağlamaktadır ve bu sayede, NaCl seviyesi azaltılan üründe algılanan tuzluluk artmaktadır (Alarcon-Rojo vd., 2015). Bununla birlikte, protein yapısını ve işlevini etkilediği bilinen darbeli elektrik alanının (PEF) çiğneme sırasında et matrisinden sodyum dağılımını ve algısını değiştirip değiştiremeyeceği ve işlenmiş kas gıdalarında sodyum azalmasına izin verip veremeyeceği konusunda literatürde hiçbir bilgi bulunmamaktadır. PEF, elektroporasyonu indükleyerek ve membranı ve hücresel geçirgenliği artırarak sodyumun et matrisinden difüzyonunu, dağılımını ve salınmasını etkileyebilir. Bu, proteinler ve tuz iyonları arasındaki etkileşimi değiştirebilir ve

çiğneme sırasında sodyum salınımını etkileyebilir (Bhat vd., 2019).

### **Koku-tat interaksiyonları**

Son zamanlarda, tuzu azaltma yaklaşımları arasında çapraz model koku-tat etkileşimlerine dayalı olan koku kaynaklı tuzluluk artırma (OISE) uygulaması dikkat çekmiştir (Thomas-Danguin vd., 2019). Jambon ve sardalya kokularının peynir gibi katı gıdalardaki tuzluluğu artırdığı gözlenmiştir (Syarifuddin vd., 2016) ve bu durum koku ve tat arasındaki uyumu göstermiştir. Öte yandan, bir peynir aroması modelinde (değişen aroma, NaCl ve laktik asit seviyeleri), tat seviyelerinin, peynir aroması yoğunluğu bastırılmadan önce ancak belirli bir dereceye kadar değiştirilebileceği gösterilmiştir (Niimi vd., 2016). Ayrıca, Linscott ve Lim (2016), tuzluluk ve umaminin, tavuk ve soya sosu koku yoğunluklarını artırdığını, kokuların ise tat yoğunluklarını artırmadığını bildirmiştir. Bu nedenle, koku-tat etkileşimleri zordur ve daha fazla çalışma gerektirmektedir.

### **SONUÇ**

Vücutta sıvı ve elektrolit dengesinin sağlanmasında ve kan basıncının düzenlenmesinde önemli rol oynayan sodyum, fazla tüketildiğinde başta kalp hastalıkları olmak üzere pek çok önemli rahatsızlığa neden olmaktadır. Gıdalardaki birincil sodyum kaynağı tuz olup gıdaların duysal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Değişen yaşam tarzları ve beslenme düzenleri, işlenmiş hazır gıdalara olan talebin artmasına ve daha yüksek tuz tüketim oranlarına yol açmıştır. Yüksek sodyum alımıyla ilgili artan halk sağlığı endişeleri, dünya çapında sodyumu azaltma çabalarının hız kazanmasına öncülük etmiştir. Tuzun azaltılması, gıdaların işleme özellikleri, duysal kalitesi ve raf ömrü ile yakından ilgilidir. Bu nedenle, gıda güvenliğini, duysal kaliteyi ve işleme kalitesini etkilemeden gıda ürünlerinin tuz içeriğini düşürmek oldukça güçtür. Son zamanlarda, endüstri ve akademi, gıdalardaki sodyum konsantrasyonunu ve akabinde insan vücudu tarafından sodyum alımını azaltma üzerine yoğunlaşmıştır. Gıda ürünlerinde sodyumun azaltılmasına yönelik mevcut yaklaşımlar, esas olarak gıda formülasyonlarında

tuzun kaldırılması ve kademeli sodyum azaltımı, sodyumun tuz ikameleri ile değiştirilmesi, lezzet arttırıcıların kullanımı, gıda yapısının yeniden tasarlanması, tuzun fiziksel formunun değiştirilmesi ve yeni teknolojilerle tuz difüzyonunun geliştirilmesi stratejilerini içermektedir. Bu stratejiler arasında özellikle gıda yapısının tasarlanması ve tuzun fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi stratejileri, sodyum salınımını ve taşınmasını optimize etmek, tuzluluğun duyuşsal algısını iyileştirmek ve böylece sodyum azaltımını sağlamak için ümit verici yaklaşımlardır. Sodyum azaltımında, gıda yapısındaki değişim ile tuz tadı algısı arasındaki ilişkinin anlaşılması ve açıklığa kavuşturulması oldukça önemlidir. Gelecek araştırmalar, tuz kristallerinin belirli morfolojilerini tasarlama, kristal boyutların ve mikroyapıların etkisini analiz etme ve gıda matrislerinin tuzun çözünmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmeye odaklanmalıdır. Sodyum ile proteinler ve polisakkaritler gibi biyopolimerler arasındaki ikili veya üçüncül etkileşimlerin etkilerinin belirlenebilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların makale ile ilgili başka kişiler veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### YAZAR KATKILARI

Semra Bozkurt ve Mehmet Koç derleme çalışmasının planlanması, yürütülmesi, değerlendirilmesi ve yazımında görev almıştır.

### KAYNAKLAR

Aaltonen, J., Allesø, M., Mirza, S., Koradia, V., Gordon, K. C., Rantanen, J. (2009). Solid form screening-a review. *Eur J Pharm Biopharm*, 71: 23-37, doi: 10.1016/j.ejpb.2008.07.014.

Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Sci*, 107:86-93, doi: 10.1016/j.meatsci.2015.04.015.

Almli, V. L., Hersleth, M. (2013). Salt replacement and injection salting in smoked salmon evaluated from descriptive and hedonic sensory

perspectives. *Aquac Int*, 21: 1091-1108, doi: 10.1007/s10499-012-9615-4.

Antúnez, L., Giménez, A., Vidal, L., & Ares, G. (2018). Partial replacement of NaCl with KCl in bread: Effect on sensory characteristics and consumer perception. *J Sens Stud*, 33: e12441, doi: 10.1111/joss.12441.

Arcand, J., Jefferson, K., Schermel, A., Shah, F., Trang, S., Kutlesa, D., ..., L'Abbe, M. R. (2016). Examination of food industry progress in reducing the sodium content of packaged foods in Canada: 2010 to 2013. *Appl Physiol Nutr Metab*, 41: 684-690, doi: 10.1139/apnm-2015-0617.

Bansal, V., Mishra, S. K. (2020). Reduced-sodium cheeses: Implications of reducing sodium chloride on cheese quality and safety. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 19: 733-758, doi: 10.1111/1541-4337.12524.

Baptista, D. P., da Silva Araújo, F. D., Eberlin, M. N., Gigante, M. L. (2017). Reduction of 25% salt in Prato cheese does not affect proteolysis and sensory acceptance. *Int Dairy J*, 75:101-110, doi: 10.1016/j.idairyj.2017.08.001.

Bassett, M. N., Pérez-Palacios, T., Cipriano, I., Cardoso, P., Ferreira, I. M., Samman, N., Pinho, O. (2014). Development of bread with NaCl reduction and calcium fortification: study of its quality characteristics. *J Food Qual*, 37: 107-116, doi: 10.1111/jfq.12079.

Berton-Carabin, C. C., Sagis, L., Schroën, K. (2018). Formation, structure, and functionality of interfacial layers in food emulsions. *Annu Rev Food Sci Technol*, 9: 551-587, doi: 10.1146/annurev-food-030117-012405.

Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., Bekhit, A. E. D. A. (2019). Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 59: 1660-1674, doi: 10.1080/10408398.2018.1425825.

Bolhuis, D. P., Temme, E. H., Koeman, F. T., Noort, M. W., Kremer, S., Janssen, A. M. (2011). A salt reduction of 50% in bread does not decrease bread consumption or increase sodium intake by the choice of sandwich fillings. *J Nutr*, 141: 2249-2255, doi: 10.3945/jn.111.141366.

- Braschi, A., Gill, L., Naismith, D. J. (2009). Partial substitution of sodium with potassium in white bread: feasibility and bioavailability. *Int J Food Sci Nutr*, 60: 507-521, doi: 10.1080/09637480701782118.
- Brinsden, H. C., He, F. J., Jenner, K. H., MacGregor, G. A. (2013). Surveys of the salt content in UK bread: progress made and further reductions possible. *BMJ open*, 3(6). doi:10.1136/bmjopen-2013-002936.
- Cappuccio, F. P., Beer, M., Strazzullo, P. (2019). Population dietary salt reduction and the risk of cardiovascular disease. A scientific statement from the European Salt Action Network. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 29: 107-114, doi: 10.1016/j.numecd.2018.11.010.
- Carvalho, C. B., Madrona, G. S., Corradine, S. D. S., Reche, P. M., Pozza, M. S. D. S., Prado, I. N. D. (2013). Evaluation of quality factors of bovine and chicken meat marinated with reduced sodium content. *Food Sci Technol*, 33: 776-783, doi: 10.1590/S0101-20612013000400025.
- Cerrato Rodriguez, W. A., Torrico, D. D., Osorio, L. F., Cardona, J., Prinyawiwatkul, W. (2017). Taste perception and purchase intent of oil-in-water spreads: effects of oil types and salt (NaCl or KCl) concentrations. *Int J Food Sci Technol*, 52: 2138-2147, doi: 10.1111/ijfs.13492.
- Charlton, K. E., Macgregor, E., Vorster, N. H., Levitt, N. S., Steyn, K. (2007). Partial replacement of NaCl can be achieved with potassium, magnesium and calcium salts in brown bread. *Int J Food Sci Nutr*, 58: 508-521, doi: 10.1080/09637480701331148.
- Chavhan, G. B., Kanawjia, S. K., Khetra, Y., Puri, R. (2015). Effect of potassium-based emulsifying salts on sensory, textural, and functional attributes of low-sodium processed Mozzarella cheese. *Dairy Sci Technol*, 95: 265-278, doi:10.1007/s13594-014-0207-0.
- Chindapan, N., Niamnuy, C., & Devahastin, S. (2018). Physical properties, morphology and saltiness of salt particles as affected by spray drying conditions and potassium chloride substitution. *Powder Technol*, 326: 265-271, doi: 10.1016/j.powtec.2017.12.014.
- Corral, S., Salvador, A., Belloch, C., Flores, M. (2014). Effect of fat and salt reduction on the sensory quality of slow fermented sausages inoculated with *Debaryomyces hansenii* yeast. *Food Control*, 45: 1-7, doi: 10.1016/j.foodcont.2014.04.013.
- Costa, R. G. B., Alves, R. C., da Cruz, A. G., Sobral, D., Teodoro, V. A. M., Junior, L. C. G. C., ..., Miguel, E. M. (2018). Manufacture of reduced-sodium Coalho cheese by partial replacement of NaCl with KCl. *Int Dairy J*, 87: 37-43, doi: 10.1016/j.idairyj.2018.07.012.
- Costa, R. G. B., Junior, A. C., da Cruz, A. G., Sobral, D., Júnior, L. C. G. C., de Paula, J. C. J., ..., Teodoro, V. A. M. (2019). Effect of partial replacement of sodium chloride with potassium chloride on the characteristics of Minas Padrão cheese. *Int Dairy J*, 91: 48-54, doi: 10.1016/j.idairyj.2018.12.002.
- Czarnacka-Szymani, J., Jezewska-Zychowicz, M. (2015). Impact of nutritional information on consumers' acceptance of cheese with reduced sodium chloride content. *Int Dairy J*, 40: 47-53, doi: 10.1016/j.idairyj.2014.08.017.
- da Silva Araujo, D. H., de Souza Rodrigues, R. T., da Costa, M. M., de Miranda, J. O., de Lira-Alencar, N. R. C., Queiroz, M. A. Á., ..., Gois, G. C. (2021). Reduction of sodium content in frozen goat sausage using different types of salt. *LWT*, 135: 110272, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110272.
- de Souza Paglarini, C., Vidal, V. A., Ribeiro, W., Badan Ribeiro, A. P., Bernardinelli, O. D., Herrero, A. M., ..., Rodrigues Pollonio, M. A. (2021). Using inulin-based emulsion gels as fat substitute in salt reduced Bologna sausage. *J Sci Food Agric*, 101: 505-517, doi: 10.1002/jsfa.10659.
- Diaz-Bustamante, M. L., Reyes, L. H., Solano, O. A. A. (2020). Application of a Multiscale Approach in the Substitution and Reduction of NaCl in Costeño-Type Artisan Cheese. *Appl Sci*, 10: 9008, doi: 10.3390/app10249008.
- Diler, G., Le-Bail, A., & Chevallier, S. (2016). Salt reduction in sheeted dough: A successful technological approach. *Food Res Int*, 88: 10-15, doi: 10.1016/j.foodres.2016.03.013.
- dos Santos Harada-Padermo, S., Dias-Faceto, L. S., Selani, M. M., Conti-Silva, A. C., de Souza



- Vieira, T. M. F. (2021). Umami Ingredient, a newly developed flavor enhancer from shiitake byproducts, in low-sodium products: A study case of application in corn extruded snacks. *LWT*, 138: 110806, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110806.
- Dziki, D., Cacak-Pietrzak, G., Hassoon, W. H., Gawlik-Dziki, U., Sulek, A., Rózyło, R., Sugier, D. (2021). The fruits of sumac (*Rhus coriaria* L.) as a functional additive and salt replacement to wheat bread. *LWT*, 136: 110346, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110346.
- Erol, N. D., Erdem, Ö. A., Cakli, S., Yavuz, A. B. (2021). Influence of partial sodium replacement on proximate composition, physical and sensory quality of marinated anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *LWT*, 137: 110476, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110476.
- Forouzanfar, M. H., Liu, P., Roth, G. A., Ng, M., Biryukov, S., Marczak, L., ..., Murray, C. J. (2017). Global burden of hypertension and systolic blood pressure of at least 110 to 115 mm Hg, 1990-2015. *Jama*, 317: 165-182, doi: 10.1001/jama.2016.19043.
- Freire, T. V. M., Freire, D. O., de Souza, V. R., Gonçalves, C. S., Carneiro, J. D. D. S., Nunes, C. A., Pinheiro, A. C. M. (2015). Salting potency and time-intensity profile of microparticulated sodium chloride in shoestring potatoes. *J Sens Stud*, 30: 1-9, doi: 10.1111/joss.12129.
- Garfinkle, M. A. (2017). Salt and essential hypertension: pathophysiology and implications for treatment. *J Am Soc Hypertens*, 11: 385-391, doi: 10.1016/j.jash.2017.04.006.
- Georges, C., Daroub, H., Toufeili, I., Isma'eel, H., & Olabi, A. (2018). Dough mixing properties and white pita bread sensory characteristics as affected by salt reduction. *Int J Food Prop*, 21: 2578-2589, doi: 10.1080/10942912.2018.1540987.
- Goh, S. M., Leroux, B., Groeneschild, C. A. G., Busch, J. L. H. C. (2010). On the effect of tastant excluded fillers on sweetness and saltiness of a model food. *J Food Sci*, 75: 245-249, doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01597.x.
- Gomes, A. P., Cruz, A. G., Cadena, R. S., Celeghini, R. M. S., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A., ..., Granato, D. (2011). Manufacture of low-sodium Minas fresh cheese: Effect of the partial replacement of sodium chloride with potassium chloride. *Int J Dairy Sci*, 94: 2701-2706, doi: 10.3168/jds.2010-3774.
- Graudal, N. A., Hubeck-Graudal, T., Jürgens, G. (2016). Reduced dietary sodium intake increases heart rate. A meta-analysis of 63 randomized controlled trials including 72 study populations. *Front. Physiol*, 7:111, doi: 10.3389/fphys.2016.00111.
- Grummer, J., Bobowski, N., Karalus, M., Vickers, Z., Schoenfuss, T. (2013). Use of potassium chloride and flavor enhancers in low sodium Cheddar cheese. *Int J Dairy Sci*, 96: 1401-1418, doi: 10.3168/jds.2012-6057.
- He, F. J. (2019) Salt and health. In: Reducing Salt in Foods, Beeren, C. (chief ed.), 2nd Edition, Woodhead Publishing, Duxford, the UK, pp. 3-44. ISBN: 978-0-08-100933-8.
- Health Canada (2018). Sodium reduction in processed foods in Canada: An evaluation of progress toward voluntary targets from 2012 to 2016. Retrieved from <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/legislation-guidelines/guidance-documents/guidance-food-industry-reducing-sodium-processed-foodsprogress-report-2017.html>.
- Hoppu, U., Hopia, A., Pohjanheimo, T., Rotola-Pukkila, M., Mäkinen, S., Pihlanto, A., Sandell, M. (2017). Effect of salt reduction on consumer acceptance and sensory quality of food. *Foods*, 6: 103, doi: 10.3390/foods6120103.
- Hu, Y., Zhang, L., Zhang, H., Wang, Y., Chen, Q., Kong, B. (2020). Physicochemical properties and flavour profile of fermented dry sausages with a reduction of sodium chloride. *LWT*, 124: 109061, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109061.
- Ilgaz, Ş., & Yarangümel, K. (2019). Gıda ve içecek sektörü için protokol uygulama ve tuz azaltma rehberi. Türkiye gıda ve içecek sanayii dernekler federasyonu.
- Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., Burgess, C. M. (2017). Salt reduction strategies

- in processed meat products—A review. *Trends Food Sci Technol*, 59: 70-78, doi: 10.1016/j.tifs.2016.10.016.
- Institute of Medicine. 2005. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Washington, DC: The National Academies Press, doi: 10.17226/10925.
- Israr, T., Rakha, A., Sohail, M., Rashid, S., Shehzad, A. (2016). Salt reduction in baked products: Strategies and constraints. *Trends Food Sci Technol*, 51: 98-105. doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.002.
- Kamleh, R., Olabi, A., Toufeili, I., Najm, N. E. O., Younis, T., Ajib, R. (2012). The effect of substitution of sodium chloride with potassium chloride on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of Halloumi cheese. *Int J Dairy Sci*, 95: 1140-1151, doi: 10.3168/jds.2011-4878.
- Karimi, R., Mortazavian, A. M., Karami, M. (2012). Incorporation of *Lactobacillus casei* in Iranian ultrafiltered Feta cheese made by partial replacement of NaCl with KCl. *Int J Dairy Sci*, 95: 4209-4222, doi:10.3168/jds.2011-4872.
- Khetra, Y., Kanawjia, S. K., Puri, R. (2016). Selection and optimization of salt replacer, flavour enhancer and bitter blocker for manufacturing low sodium Cheddar cheese using response surface methodology. *LWT*, 72: 99-106, doi: 10.1016/j.lwt.2016.04.035.
- Kilcast, D., Den Ridder, C. (2007). In: F. Angus (Eds.), Sensory issues in reducing salt in food products. In: *Reducing Salt in Foods*, Kilcast, D. (chief ed.), Woodhead Publishing, the UK, pp, 201–220. ISBN: 978-1-84569-018-2.
- Kloss, L., Meyer, J. D., Graeve, L., Vetter, W. (2015). Sodium intake and its reduction by food reformulation in the European Union—A review. *NFS journal*, 1: 9-19, doi: 10.1016/j.nfs.2015.03.001.
- Koliandris, A. L., Morris, C., Hewson, L., Hort, J., Taylor, A. J., Wolf, B. (2010). Correlation between saltiness perception and shear flow behaviour for viscous solutions. *Food Hydrocoll*, 24: 792-799, doi: 10.1016/j.foodhyd.2010.04.006.
- Kremer, S., Shimojo, R., Holthuysen, N., Köster, E. P., Mojet, J. (2013). Consumer acceptance of salt-reduced “soy sauce” foods over rapidly repeated exposure. *Food Qual Prefer*, 27: 179-190, doi: 10.1016/j.foodqual.2012.06.002.
- La Croix, K. W., Fiala, S. C., Colonna, A. E., Durham, C. A., Morrissey, M. T., Drum, D. K., Kohn, M. A. (2015). Consumer detection and acceptability of reduced-sodium bread. *Public Health Nutr*, 18: 1412-1418, doi: 10.1017/S1368980014001748.
- Li, Y., Han, K., Wan, Z., Yang, X. (2020). Salt reduction in semi-solid food gel via inhomogeneous distribution of sodium-containing coacervate: Effect of gum arabic. *Food Hydrocoll*, 109: 106102, doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.106102.
- Lima, A., Dufauret, M., le Révérend, B., Wooster, T. J. (2018). Deconstructing how the various components of emulsion creamers impact salt perception. *Food Hydrocoll*, 79: 310-318, doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.01.005.
- Linscott, T. D., Lim, J. (2016). Retronasal odor enhancement by salty and umami tastes. *Food Qual Prefer*, 48: 1-10, doi: 10.1016/j.foodqual.2015.08.004.
- Lučan, M., Ranilović, J., Slačanac, V., Cvetković, T., Primorac, L., Gajari, D., ..., Čačić, J. L. (2020). Physico-chemical properties, spreadability and consumer acceptance of low-sodium cream cheese. *Mljekarstvo/Dairy*, 70, doi: 10.15567/mljekarstvo.2020.0101.
- Lynch, E. J., Dal Bello, F., Sheehan, E. M., Cashman, K. D., Arendt, E. K. (2009). Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. *Food Res. Int*, 42: 885-891, doi: 10.1016/j.foodres.2009.03.014.
- McGough, M. M., Sato, T., Rankin, S. A., Sindelar, J. J. (2012). Reducing sodium levels in frankfurters using naturally brewed soy sauce. *Meat Sci*, 91: 69-78, doi:10.1016/j.meatsci.2011.12.008.
- Mente, A., O'Donnell, M., Rangarajan, S., McQueen, M., Dagenais, G., Wielgosz, A., ..., Yusuf, S. (2018). Urinary sodium excretion, blood

- pressure, cardiovascular disease, and mortality: a community-level prospective epidemiological cohort study. *The Lancet*, 392: 496-506, doi: 10.1016/S0140-6736(18)31376-X.
- Miller, R. A., Jeong, J. (2014). Sodium reduction in bread using low-sodium sea salt. *Cereal Chem*, 91: 41-44, doi: 10.1094/CCHEM-05-13-0089-R.
- Mitchell, H. L. (2019) Strategies and implications for salt reduction in food products. In: *Reducing Salt in Foods*, Beeren, C. (chief ed.), 2nd Edition, Woodhead Publishing, Duxford, the UK, pp. 113-128. ISBN: 978-0-08-100933-8.
- Moncada, M., Astete, C., Sabliov, C., Olson, D., Boeneke, C., & Aryana, K. J. (2015). Nano spray-dried sodium chloride and its effects on the microbiological and sensory characteristics of surface-salted cheese crackers. *Int J Dairy Sci*, 98: 5946-5954, doi: 10.3168/jds.2015-9658.
- Mozuraityte, R., Berget, I., Mahdalova, M., Grønsberg, A., Øye, E. R., Greiff, K. (2019). Sodium reduction in processed cheese spreads and the effect on physicochemical properties. *Int. Dairy J*, 90: 45-55, doi: 10.1016/j.idairyj.2018.10.008.
- Mueller, E., Koehler, P., Scherf, K. A. (2016). Applicability of salt reduction strategies in pizza crust. *Food Chem*, 192: 1116-1123, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.07.066.
- Muñoz, I., Guàrdia, M. D., Arnau, J., Dalgaard, P., Bover, S., Fernandes, J. O., ..., Oliveira, H. (2020). Effect of the sodium reduction and smoking system on quality and safety of smoked salmon (*Salmo salar*). *Food Chem Toxicol*, 143: 111554, doi: 10.1016/j.fct.2020.111554.
- Nakagawa, T., Kohori, J., Koike, S., Katsuragi, Y., & Shoji, T. (2014). Sodium aspartate as a specific enhancer of salty taste perception—Sodium aspartate is a possible candidate to decrease excessive intake of dietary salt. *Chem. Senses*, 39: 781-786, doi: 10.1093/chemse/bju051.
- Ndanuko, R. N., Dunford, E. K., Wu, J. H., Raubenheimer, D., Neal, B. C. (2020). Changes in sodium levels of processed foods among the International Food and Beverage Association member companies in Australia: 2013–2017. *J Food Compos Anal*, 87, 103405, doi: 10.1016/j.jfca.2019.103405.
- Nielsen, T., Mihnea, M., Băth, K., Cunha, S. C., Ferreira, R., Fernandes, J. O., ..., Oliveira, H. (2020). New formulation for producing salmon pâté with reduced sodium content. *Food Chem. Toxicol*, 143: 111546, doi: 10.1016/j.fct.2020.111546.
- Niimi, J., Overington, A. R., Silcock, P., Bremer, P. J., Delahunty, C. M. (2016). Cross-modal taste and aroma interactions: Cheese flavour perception and changes in flavour character in multicomponent mixtures. *Food Qual Prefer*, 48: 70-80, doi: 10.1016/j.foodqual.2015.08.011.
- Noort, M. W., Bult, J. H., Stieger, M., Hamer, R. J. (2010). Saltiness enhancement in bread by inhomogeneous spatial distribution of sodium chloride. *J Cereal Sci*, 52: 378-386, doi: 10.1016/j.jcs.2010.06.018.
- Noort, M. W., Bult, J. H., Stieger, M. (2012). Saltiness enhancement by taste contrast in bread prepared with encapsulated salt. *J. Cereal Sci*, 55: 218-225, doi: 10.1016/j.jcs.2011.11.012.
- Nuwanthi, S. G. L. I., Madage, S. S. K., Hewajulige, I. G. N., & Wijesekera, R. G. S. (2016). Comparative study on organoleptic, microbiological and chemical qualities of dried fish, Goldstripe Sardinella (*Sardinella gibbosa*) with low salt levels and spices. *Procedia Food Sci*, 6: 356-361, doi: 10.1016/j.profoo.2016.02.072.
- O'Sullivan, M. (2020). *Salt, Fat and Sugar Reduction: Sensory Approaches for Nutritional Reformulation of Foods and Beverages*. Woodhead Publishing the UK, pp. 346. ISBN: 978-0-12-822612-4 .
- Pedro, S., Nunes, M.L., 2019. Reducing salt in seafood products. In: Beeren, C., Groves, K., Titoria, P.M. (Eds.), *Reducing Salt in Foods*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 185–211. ISBN: 978-0-08-100933-8.
- Petit, G., Jury, V., de Lamballerie, M., Duranton, F., Pottier, L., Martin, J. L. (2019). Salt intake from processed meat products: Benefits, risks and evolving practices. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 18:1453-1473, doi: 10.1111/1541-4337.12478.

- Pflaum, T., Konitzer, K., Hofmann, T., Koehler, P. (2013). Influence of texture on the perception of saltiness in wheat bread. *J Agric Food Chem*, 61: 10649-10658, doi: 10.1021/jf403304y.
- Pietrasik, Z., Gaudette, N. J. (2014). The impact of salt replacers and flavor enhancer on the processing characteristics and consumer acceptance of restructured cooked hams. *Meat Sci*, 96: 1165-1170, doi:10.1016/j.meatsci.2013.11.005.
- Pires, M. A., Munekata, P. E. S., Baldin, J. C., Rocha, Y. J. P., Carvalho, L. T., dos Santos, I. R., Trindade, M. A. (2017). The effect of sodium reduction on the microstructure, texture and sensory acceptance of Bologna sausage. *Food Struct*, 14: 1-7, doi: 10.1016/j.foostr.2017.05.002.
- Purdy, J. (2019) Dietary salt: Consumption, reduction strategies and consumer awareness. In: *Reducing Salt in Foods*, Beeren, C. (chief ed.), 2nd Edition, Woodhead Publishing, Duxford, the UK, pp. 71-96. ISBN: 978-0-08-100933-8.
- Quilaqueo, M., Aguilera, J. M. (2015). Dissolution of NaCl crystals in artificial saliva and water by video-microscopy. *Food Res Int*, 69: 373-380, doi:10.1016/j.foodres.2015.01.020.
- Quilaqueo, M., Duizer, L., Aguilera, J. M. (2015). The morphology of salt crystals affects the perception of saltiness. *Food Res Int*, 76: 675-681, doi: 10.1016/j.foodres.2015.07.004.
- Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., Rosales-Oballos, Y., de Petricone, R. C., Frágenas, N. N., Zambrano-Durán, A., ... Urbina, G. (2019). New alternative to reduce sodium chloride in meat products: Sensory and microbiological evaluation. *LWT*, 108: 253-260, doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.057.
- Reißner, A. M., Wendt, J., Zahn, S., Rohm, H. (2019). Sodium-chloride reduction by substitution with potassium, calcium and magnesium salts in wheat bread. *LWT*, 108: 153-159, doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.069.
- Rios-Mera, J. D., Saldaña, E., Cruzado-Bravo, M. L., Patinho, I., Selani, M. M., Valentin, D., Contreras-Castillo, C. J. (2019). Reducing the sodium content without modifying the quality of beef burgers by adding micronized salt. *Food Res Int*, 121: 288-295, doi: 10.1016/j.foodres.2019.03.044.
- Rizo, A., Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Barat, J. M. (2017). Development of a novel smoke-flavoured trout product: An approach to sodium reduction and shelf life assessment. *J. Food Eng*, 211: 22-29, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.031.
- Rodrigues, D. M., de Souza, V. R., Mendes, J. F., Nunes, C. A., Pinheiro, A. C. M. (2016). Microparticulated salts mix: An alternative to reducing sodium in shoestring potatoes. *LWT*, 69: 390-399, doi: 10.1016/j.lwt.2016.01.056.
- Rodrigues, J. F., Gonçalves, C. S., Pereira, R. C., Carneiro, J. D. S., Pinheiro, A. C. M. (2014). Utilization of temporal dominance of sensations and time intensity methodology for development of low-sodium Mozzarella cheese using a mixture of salts. *Int J Dairy Sci*, 97: 4733-4744, doi: 10.3168/jds.2014-7913.
- Samapundo, S., Deschuyffeleer, N., Van Laere, D., De Leyn, I., Devlieghere, F. (2010). Effect of NaCl reduction and replacement on the growth of fungi important to the spoilage of bread. *Food Microbiol*, 27: 749-756, doi:10.1016/j.fm.2010.03.009.
- Sharif, K., Amital, H., Shoenfeld, Y. (2018). The role of dietary sodium in autoimmune diseases: The salty truth. *Autoimmun. Rev*, 17: 1069-1073, doi: 10.1016/j.autrev.2018.05.007.
- Silow, C., Axel, C., Zannini, E., Arendt, E. K. (2016). Current status of salt reduction in bread and bakery products—a review. *J Cereal Sci*, 72: 135-145, doi: 10.1016/j.jcs.2016.10.010.
- Silow, C., Axel, C., Zannini, E., Arendt, E. K. (2018). Application of sourdough in the production of fat-and salt-reduced puff pastry. *Eur Food Res. Technol*, 244: 1581-1593, doi: 10.1007/s00217-018-3071-y.
- Soteras, T., Cunzolo, S. A., Carduza, F. J., Grigioni, G. M. (2019). Use of spherical salt for reducing sodium content with no change in salty perception in the development of a lamb meat burger with high-rated technological and sensory

- properties. *RFANUS*, 1: 38–47, doi: fanus.com.ar/rfanus/2019-01.pdf.
- Sun, C., Zhou, X., Hu, Z., Lu, W., Zhao, Y., Fang, Y. (2020). Food and salt structure design for salt reducing. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 102570, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102570.
- Syarifuddin, A., Septier, C., Salles, C., Thomas-Danguin, T. (2016). Reducing salt and fat while maintaining taste: An approach on a model food system. *Food Qual Prefer*, 48: 59-69.
- Tamm, A., Bolumar, T., Bajovic, B., Toepfl, S. (2016). Salt (NaCl) reduction in cooked ham by a combined approach of high pressure treatment and the salt replacer KCl. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 36: 294-302, doi: 10.1016/j.ifset.2016.07.010.
- Thomas-Danguin, T., Guichard, E., Salles, C. (2019). Cross-modal interactions as a strategy to enhance salty taste and to maintain liking of low-salt food: a review. *Food Funct*, 10: 5269-5281, doi: 10.1039/C8FO02006J.
- Vasques, C., Mendes, M. P., Silva, D. M., Monteiro, A. R. G. (2020). Reduction in sodium chloride content in saltine crackers through an edible coating. *Czech J Food Sci*, 38: 237-241, doi: 10.17221/221/2019-CJFS.
- Vinitha, K., Leena, M. M., Moses, J. A., Anandharamakrishnan, C. (2021). Size-dependent enhancement in salt perception: Spraying approaches to reduce sodium content in foods. *Powder Technol*, 378: 237-245, doi: 10.1016/j.powtec.2020.09.079.
- Wang, G., Yeung, C. K., Wong, W. Y., Zhang, N., Wei, Y. F., Zhang, J. L., ..., Yang, X. (2016). Liver fibrosis can be induced by high salt intake through excess reactive oxygen species (ROS) production. *J Agric Food Chem*, 64: 1610-1617, doi: 10.1021/acs.jafc.5b05897.
- Wilck, N., Matus, M. G., Kearney, S. M., Olesen, S. W., Forslund, K., Bartolomaeus, H., ..., Müller, D. N. (2017). Salt-responsive gut commensal modulates TH 17 axis and disease. *Nature*, 551: 585-589, doi: 10.1038/nature24628.
- World Health Organization, 2004. Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Geneva.
- World Health Organization. (2013). Mapping salt reduction initiatives in the WHO European Region. WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/186462/Mapping-salt-reduction-initiatives-in-the-WHO-](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/186462/Mapping-salt-reduction-initiatives-in-the-WHO-) (Accessed: 03 December 2020.)
- World Health Organization. (2016). The SHAKE technical package for salt reduction. <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/shake-salthabit/en/>. (Accessed: 27 November 2020).
- World Health Organization (WHO). (2018). Healthy diet. Fact sheet number 394. World Health Organization, Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/whodocuments-detail/healthy-diet-factsheet394> (Accessed: 25 November 2020).
- Xue, Y., Wen, Q., Xu, C., Zhang, X., Zeng, J., Sha, A. M., ..., Zeng, C. (2020). Elevated Salt Taste Threshold Is Associated with Increased Risk of Coronary Heart Disease. *J. Cardiovasc Transl Res*, 1-8, doi: 10.1007/s12265-020-10017-4.
- Yi, C., Tsai, M. L., Liu, T. (2017). Spray-dried chitosan/acid/NaCl microparticles enhance saltiness perception. *Carbohydr Polym*, 172, 246-254, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.05.066.