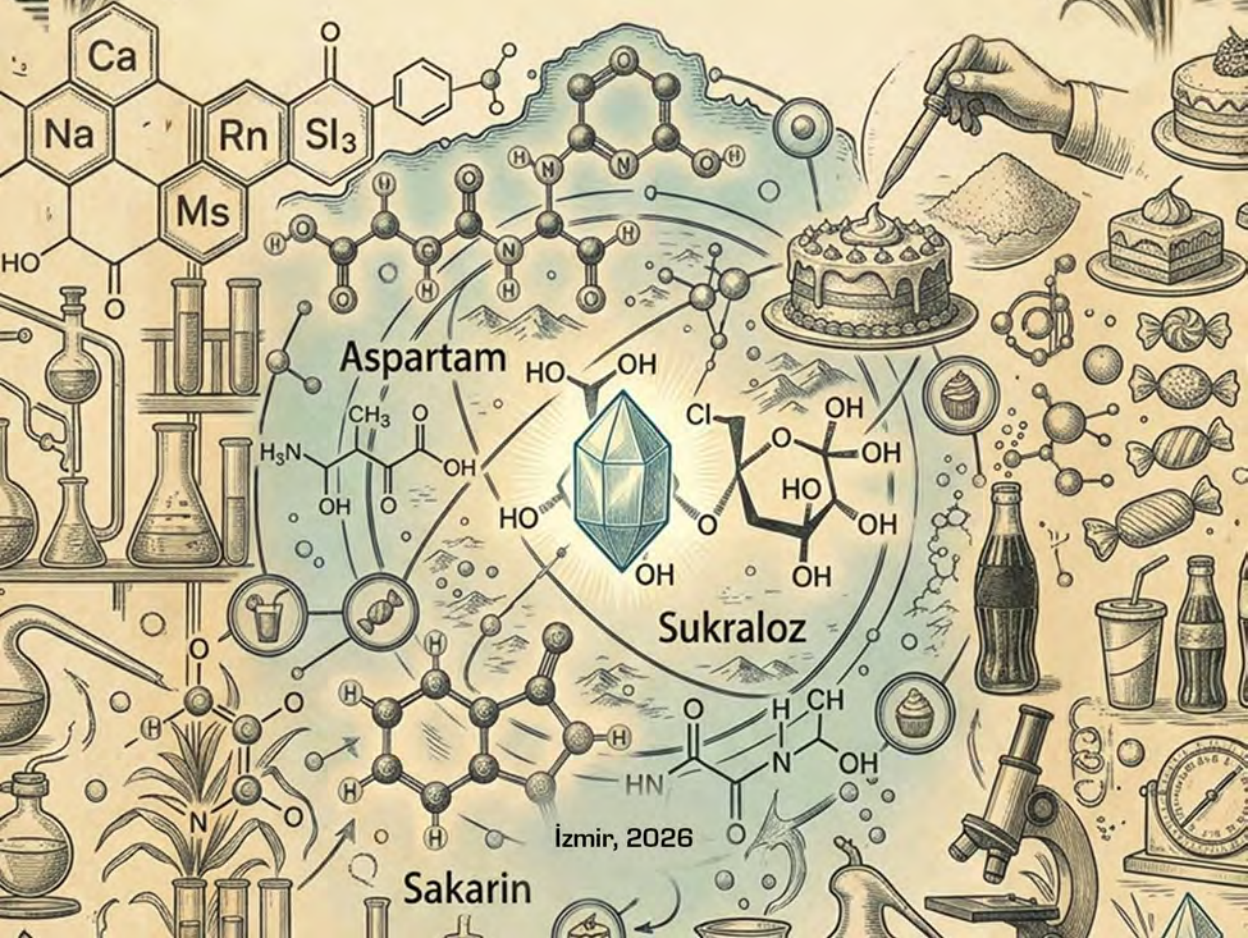




Ege Üniversitesi Yayınları
Mühendislik Fakültesi Yayın No: 76

TATLANDIRICILAR KİMYASI

Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU



Ege Üniversitesi Yayınları
Mühendislik Fakültesi Yayın No: 76

TATLANDIRICILAR KİMYASI

DOÇ. DR. EMİNE NAKİLCİOĞLU

*Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Gıda Mühendisliği Bölümü*

İzmir 2026

TATLANDIRICILAR KİMYASI

DOÇ. DR. EMİNE NAKİLCİOĞLU

ISBN: 978-605-338-502-8

Ege Üniversitesi Yönetim Kurulunun 05.05.2026 tarih ve 9/19 sayılı kararı ile yayınlanmıştır.

© Bu kitabın tüm yayın hakları Ege Üniversitesi'ne aittir. Kitabın tamamı ya da hiçbir bölümü yazarının önceden yazılı izni olmadan elektronik, optik, mekanik ya da diğer yollarla kaydedilemez, basılamaz, çoğaltılamaz. Ancak kaynak olarak gösterilebilir.

Eserin bilim, dil ve her türlü sorumluluğu yazarına/editörüne aittir.

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Sertifika No: 81195

Yayın İletişim

Ege Üniversitesi Rektörlüğü

İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı

Basım ve Yayınevi Şube Müdürlüğü Bornova-İzmir

Tel: 0 232 311 59 07 - 0 232 342 12 52

E-posta: egekitapsatis@mail.ege.edu.tr

Yayınlanma Tarihi: Mayıs, 2026



Bu eser, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisansı (CC BY-NC-ND) ile lisanslanmıştır. Bu lisansla eser alıntı yapmak koşuluyla paylaşılabilir. Ancak kopyalanamaz, dağıtılamaz, değiştirilemez ve ticari amaçla kullanılamaz.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY-NC-ND). Under this license, the text can be shared with the condition of citation. However, it cannot be copied, distributed, modified or used for commercial purposes.

ÖNSÖZ

İnsanların tatlı lezzetlere olan yaygın eğilimi, toplumun beslenme alışkanlıklarına derinden yerleşmiş durumdadır ve genellikle açlık ve susuzluk gibi fizyolojik taleplerin çok ötesinde yer almaktadır. Tarihsel olarak sakkaroz, bu duyuşsal tercihte öne çıkmıştır. Tatlılığın özü olarak bilinmiş ve küresel olarak en yaygın tüketilen kalorili tatlandırıcı olarak sofralarda yerini almıştır. Buna rağmen sakkaroz tüketimi, uzun yıllar boyunca, obezite, diş çürükleri ve çeşitli diğer kronik hastalıkları indüklemesi sebebiyle yaygın halk sağlığı endişelerini beraberinde getirmiştir. Bu durumu en aza indirmek için glikoz ve fruktoz şurupları, çeşitli gıda formülasyonlarında sakkaroz alternatifleri olarak benimsenmiştir. Bunların gıda formülasyonlarına entegrasyonu, geleneksel şeker tüketimiyle ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin azaltılmasından ziyade, maliyeti düşürmekten öteye geçememiştir. Ayrıca son yıllarda tüketiciler daha sağlıklı yiyecek seçimleri yapmak için çabalarken, market raflarında daha fazla çeşitlilikte düşük kalorili ürün görmeyi talep etmektedirler. Tüm bu istekler doğrultusunda tatlandırıcı kullanımına olan eğilim artmakta ve yeni tatlandırıcı çeşitlerinin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar hız kazanmaktadır. Tatlandırıcılar, lezzet olarak şekerin tadını taklit etmek, gıdanın toplam kalorisini azaltmak ve diyabetik bireyler için geliştirilen ürün formülasyonlarında yer almak amacıyla kullanılan gıda katkı maddeleridir. Şekerdan yaklaşık 200 kat daha tatlıdır. Bazı tatlandırıcılar doğal, bazıları ise sentetiktir. Doğal olmayan tatlandırıcılar genellikle yapay tatlandırıcılar olarak isimlendirilir. Gıda ve içecek endüstrisi, geleneksel olarak şeker içeren bir dizi üründe şekeri veya mısır şurubunu giderek daha fazla oranda yapay tatlandırıcılarla değiştirmektedir. Yapay tatlandırıcıların maliyeti daha düşüktür. Doğal tatlandırıcılar ve yapay tatlandırıcıların kimyasal yapısı, tatlılık derecesi, sağlık üzerine etkileri değişiklik sergilemektedir. ABD Gıda ve İlaç Dairesi, yapay tatlandırıcıları gıda katkı maddeleri olarak kabul etmiştir. FDA tarafından Genel Olarak Güvenli Olarak Kabul Edilen (GRAS) katkı maddesi listesinde yer alan yapay tatlandırıcılar (sakkarin, aspartam, sukraloz, neotam, asesülfam K ve advantam) bulunmaktadır.

Tatlandırıcılar gıda endüstrisi tarafından son yıllarda ürün formülasyonlarında sıklıkla kullanılan ingredientlerdendir ve yeni şeker alternatiflerinin geliştirilmesi konusunda artan çalışmalar mevcuttur. Bu kitapta doğal ve yapay sınıfında yer alan tatlandırıcıların fiziksel, kimyasal, duyuşsal, fizyolojik etkilerinden, farklı gıda gruplarında kullanımlarından ve sağlık üzerine ayrıntılı etkilerinden bahsedilmiştir. Hazırlanan bu kitabın amacı; gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılan şeker alternatiflerinin önemini bilimsel bir

yaklaşım ile incelemek ve ders kitabı olarak bu konuyla ilgilenenlere bir kaynak sunmaktır. Kitabın Gıda Mühendisliği Bölümleri, Meslek Yüksek Okulları veya şeker ve şekerleme sektöründe faaliyet gösteren firmaların çalışmalarına destek olacağı düşünülmektedir.

Kitabın hazırlanması sırasında verdikleri destekten dolayı Gıda Müh. Elif Beyza SUBAŞI'na ve Gıda Müh. Emre Can AYDIN'a teşekkür ederim.

Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU

İzmir, 2026

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ.....	11
BÖLÜM 1: GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TATLANDIRICILAR.....	1
1. ASESÜLFAM K	1
1.1. Asesülfam K'nın Tanımı	1
1.2. Asesülfam K'nın Tarihsel Gelişimi.....	2
1.3. Asesülfam K'nın Üretimi	3
1.4. Asesülfam K'nın Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri	4
1.5. Asesülfam K'nın Kullanım Alanları	6
1.6. Sonuç	6
2. SIKLAMAT VE SAKARİN	7
2.1. Siklamat ve Sakarin'in Tanımı	7
2.2. Siklamat ve Sakarin'in Tarihsel Gelişimi.....	8
2.3. Siklamat ve Sakarin'in Üretimi	9
2.4. Siklamat ve Sakarin'in Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri	10
2.5. Siklamat ve Sakarin'in Kullanım Alanları	12
2.6. Sonuç.....	13
3. ASPARTAM, NEOTAM VE ADVANTAM.....	14
3.1. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Tanımı.....	14
3.2. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Tarihsel Gelişimi	14
3.3. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Üretimleri.....	16
3.4. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri.....	17
3.5. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Kullanım Alanları	18
3.6. Sonuç	20
4. LAKTİTOL	20
4.1. Laktitol'ün Tanımı.....	20
4.2. Laktitol'ün Tarihsel Gelişimi	21
4.3. Laktitol'ün Üretimi.....	22
4.4. Laktitol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri.....	23
4.5. Laktitol'ün Kullanım Alanları	24
4.6. Sonuç	25

5. ERİTRİTOL	25
5.1. Eritritol'ün Tanımı.....	25
5.2. Eritritol'ün Tarihsel Gelişimi	27
5.3. Eritritol'ün Üretimi.....	28
5.4. Eritritol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri.....	30
5.5. Eritritol'ün Kullanım Alanları	32
5.6. Sonuç	33
6. İZOMALT	46
6.1. İzomalt'ın Tanımı	34
6.2. İzomalt'ın Tarihsel Gelişimi.....	35
6.3. İzomalt'ın Üretimi	36
6.4. İzomalt'ın Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri	38
6.5. İzomalt'ın Kullanım Alanları	39
6.6. Sonuç	40
7. MALTİTOL.....	54
7.1. Maltitol'ün Tanımı	41
7.2. Maltitol'ün Tarihsel Gelişimi	42
7.3. Maltitol'ün Üretimi	43
7.4. Maltitol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri	44
7.5. Maltitol'ün Kullanım Alanları.....	45
7.6. Sonuç	47
8. KSİLİTOL	47
8.1. Ksilitol'ün Tanımı	47
8.2. Ksilitol'ün Tarihsel Gelişimi	49
8.3. Ksilitol'ün Üretimi	50
8.4. Ksilitol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri	51
8.5. Ksilitol'ün Kullanım Alanları.....	52
8.6. Sonuç	54
9. SORBITOL VE MANNİTOL	55
9.1. Sorbitol ve Mannitol'ün Tanımı	55
9.2. Sorbitol ve Mannitol'ün Tarihsel Gelişimi.....	56
9.3. Sorbitol ve Mannitol'ün Üretimleri	57
9.4. Sorbitol ve Mannitol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri ...	59
9.5. Sorbitol ve Mannitol'ün Kullanım Alanları	60

9.6. Sonuç	62
10. SUKRALOZ.....	63
10.1. Sukraloz'un Tanımı	63
10.2. Sukraloz'un Tarihsel Gelişimi.....	65
10.3. Sukraloz'un Üretimi	66
10.4. Sukraloz'un Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri	68
10.5. Sukraloz'un Kullanım Alanları	69
10.6. Sonuç	71
11. TATLANDIRICILARDA SON GELİŞMELER	72
11.1. Yeni Nesil Doğal Kaynaklı Tatlandırıcılar	72
11.2. Tatlandırıcılardaki Biyoteknolojik Gelişmeler ve Mikrobiyal Üretim .	73
11.3. Sentetik Tatlandırıcılardaki Gelişmeler ve Formülasyon Yaklaşımları	75
11.4. Tatlandırıcı Kombinasyon Teknolojileri ve Duyusal Sinerji Yaklaşımları	76
11.5. Tatlandırıcılarla ilgili Güncel Sağlık Tartışmaları ve Araştırma Alanları	78
11.6. Sonuç	79
BÖLÜM 2: TATLANDIRICILARIN BESLENME VE SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	81
GİRİŞ.....	81
1.GLİSEMİK ETKİ VE TOLERANS.....	83
1.1. Glisemik Etki: Tarihten Günümüze.....	83
1.2. Glisemik Etki ve Olası Olumsuz Sonuçlar: Fizyolojik ve Davranışsal Etkiler	84
1.3. Besinlerin Kan Şekeri Üzerindeki Etkilerinin Ölçümü ve İfadesi.....	85
1.4. Şekerlerin ve Alternatif Tatlandırıcıların Kan Şekeri Üzerindeki Ani Etkileri	86
1.5. Tatlandırıcıların Kan Şekeri Seviyesi Üzerindeki Uzun Süreli Etkileri .	87
1.6. Sağlıklı Bireylerde Düşük Glisemik İndekse Sahip Karbonhidratların Faydaları	88
1.7. Glisemik Cevap İle İlişkili Gastrointestinal Tolerans	89
1.8. Sonuç	90
2. DIŞ SAĞLIĞI.....	90
2.1. Giriş	90
2.2. Dış Çürükleri	91

2.2.1. Kontrol ve Önlem.....	91
2.2.2. Karyojenik Etki	91
2.3. Tatlandırıcılar ve Dental Sağlık.....	92
2.3.1. Eritritol	92
2.3.2. İzomalt.....	92
2.3.3. Laktitol	92
2.3.4. Maltitol	92
2.3.5. Sorbitol	93
2.3.6. Ksilitol.....	93
2.3.7. Asesülfam K.....	93
2.3.8. Aspartam	93
2.3.9. Siklamat ve Sakkarin.....	93
2.3.10. Sükrالoz.....	94
2.4. Diğer Tatlandırıcılar	95
2.5. Sonuç	95
3. TATLANDIRICILAR VE SİNDİRİM SAĞLIĞINA ETKİLERİ.....	95
3.1. Giriş	95
3.2. Tatlandırıcılar ve Bağırsak Mikroflorası	96
3.3. Glikoz Metabolizması Üzerindeki Etkiler.....	97
3.4. Sindirim Sistemi Üzerindeki Etkiler.....	97
3.5. Bağırsak-Beyin Ekseni ve Nörolojik Etkiler	98
3.6. Probiyotikler ve Prebiyotikler: Tatlandırıcıların Zararlarını Azaltabilir mi?.....	98
3.7. Sonuç	98
4. TATLANDIRICILAR VE KİLO KONTROLÜ: KİLO ALDIRIR MI, VERDİRİR Mİ?.....	98
4.1. Nöroendokrin Tepkiler ve Açlık Mekanizması	99
4.2. Tatlandırıcıların kilo kontrolüne etkisi ile ilişkili Hayvan ve İnsan Çalışmaları.....	99
4.3. Tatlandırıcı Tüketimi ve Yeme Davranışı	100
4.4. Tatlandırıcılar ve Obezite	100
4.5. Sonuç	101
5. TATLANDIRICILARIN KANSEROJEN POTANSİYELİ	102
5.1. Giriş	102

5.2. Tatlandırıcılar ve Kanser Riski.....	102
5.3. Hayvan Çalışmaları ve Kanser İlişkisi	104
5.3.1 Hayvan Çalışmalarında Kanser İlişkisi	104
5.3.2. Potansiyel Kanserojen Etkilerin İncelenmesi.....	105
5.4. İnsan Çalışmaları ve Kanser Riski.....	105
5.4.1. Epidemiyolojik Çalışmalar.....	105
5.4.2. Uzun Vadeli Etkiler ve Kanser Olasılığı	106
5.4.3. Belirli Kanser Türleri ile İlişkiler	106
5.5. Tatlandırıcılar ve Endokrin Sistem.....	106
5.5.1. Hormon Düzeyleri ve Kanser Riski	107
5.5.2. Östrojenik Etkiler ve Kanser	107
5.6. Regülasyonlar ve Sağlık Otoritelerinin Görüşleri	108
5.6.1. EFSA ve FDA Değerlendirmeleri	108
5.6.2. Kanser Riski Üzerine Yapılan Güncel Araştırmaların Etkisi.....	109
5.7. Sonuç	109
6. TATLANDIRICILARIN NÖROLOJİK VE PSİKOLOJİK ETKİLERİ....	110
6.1. Giriş	110
6.2. Beyin Aktivitesi, Dopamin Salınımı ve Bağımlılık Mekanizmaları.....	110
6.3. Tat Algısının Değişimi ve Yeme Davranışına Etkisi	111
6.4. Depresyon ve Anksiyete ile Bağlantısı.....	111
6.5. Sonuç	111
7. TATLANDIRICILARIN ÇOCUKLAR VE ERGENLERDE KULLANIMI	112
7.1. Giriş	112
7.2. Gelişim Dönemi Etkileri.....	112
7.3. Büyüme Hormonları ve Metabolik Süreçler	113
7.4. Uzun Vadeli Sağlık Riskleri	113
7.5. Çocuklar ve Ergenlerde Tatlandırıcı Tüketimi: Sağlık Kuruluşlarının Görüşleri.....	113
7.6. Sonuç	114
KAYNAKLAR.....	115
İNDEKS	123

GİRİŞ

Gıda endüstrisi, teknolojik gelişmeler, tüketici beklentileri ve sağlık odaklı politikaların etkisiyle sürekli olarak yenilenmektedir. Bu değişim sürecinde ürünlerin duyuşal özelliklerini doğrudan etkileyen tatlandırıcılar hem üreticiler hem de tüketiciler açısından stratejik bir öneme sahiptir. Uzun yıllar boyunca sakkaroz temel tatlandırıcı olarak kullanılmıştır. Ancak obezite, diyabet ve kardiyovasküler hastalıkların yaygınlaşmasıyla birlikte düşük kalorili ve kalorisiz alternatif tatlandırıcılara olan ilgi artmaktadır. Böylelikle tatlandırıcılar yalnızca besinlerin tat profillerini düzenlemekle kalmayıp, aynı zamanda sağlıklı beslenme arayışlarının da bir parçası haline gelmiştir.

Tatlandırıcılar genel olarak doğal ve yapay olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Stevia, monk fruit ve bal gibi doğal tatlandırıcılar tüketiciler tarafından daha güvenilir olarak değerlendirilmekte, aspartam, sakarin ve sukraloz gibi yapay tatlandırıcılar ise gıda endüstrisinde yaygın şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Ancak yapay tatlandırıcıların uzun vadeli sağlık etkilerine yönelik tartışmalar, tüketici güvenini zaman zaman olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle üreticiler, hem sağlık risklerini en aza indirmeye hem de ürünlerin duyuşal kalitesini korumaya yönelik formülasyonlar geliştirmeye çalışmaktadır.

Son yıllarda tatlandırıcı kullanımına yönelik araştırmalar, yalnızca kalori azaltıcı etkilerle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilirlik, maliyet etkinliği ve yeni nesil biyoteknolojik üretim yöntemleri gibi boyutları da kapsamaktadır. Bu çerçevede tatlandırıcıların gıda endüstrisindeki rolü, sağlık politikaları, tüketici davranışları ve inovatif üretim teknikleriyle birlikte çok yönlü olarak değerlendirilmektedir.

1. BÖLÜM

GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TATLANDIRICILAR

1. ASESÜLFAM K

1.1. Asesülfam K'nın Tanımı

Asesülfam-K (E950), 1967 yılında keşfedilen ve günümüzde gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan sentetik tatlandırıcılardan biri olan potasyum tuzudur. Kimyasal yapısı itibarıyla sülfamid grubuna ait olan bu bileşik, sakkarozdan yaklaşık 200 kat daha tatlıdır. Kalori içermemesi, stabilitesi ve termal dayanıklılığı nedeniyle düşük kalorili ürünlerde ve diyet gıdalarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle şekerli ürünlere alternatif arayan tüketiciler için önemli bir katkı maddesi haline gelmiştir.

Metabolizma açısından değerlendirildiğinde, Asesülfam-K vücutta metabolize edilmeden hızla emilmekte ve büyük oranda değişmeden böbrekler yoluyla atılmaktadır. Bu özellik, tatlandırıcının kan şekeri seviyeleri üzerinde etkili olmamasını sağlamakta ve özellikle diyabetik bireyler için güvenli bir seçenek olarak kullanılmasına imkân tanımaktadır. Bununla birlikte, çevresel kalıcılığı yüksek olduğundan, atık sularda birikim göstermesi ekotoksikolojik açıdan tartışmalara neden olmaktadır.

Duyusal özellikler açısından incelendiğinde, Asesülfam-K tek başına kullanıldığında hafif metalik veya acı bir tat bırakabilmektedir. Bu nedenle endüstride sıklıkla aspartam veya sukraloz gibi diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanılmaktadır. Böylece tat kalitesi artırılmaktadır. Sinerjistik etkisi sayesinde daha az miktarda tatlandırıcı kullanılarak istenen tatlılık sağlanmakta ve maliyet etkinliği de artmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi tarafından yapılan değerlendirmelerde, Asesülfam-K için kabul edilebilir günlük alım miktarı 15 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu düzeyin altında tüketildiğinde güvenli kabul edilmekle birlikte, yüksek doz maruziyetlerinde farklı toksikolojik bulgulara rastlandığı bildirilmektedir. Özellikle deneysel hayvan çalışmalarında,

yüksek doz Asesülfam-K maruziyetinin testis dokusunda dejenerasyona yol açtığı ve spermatogenez sürecini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

1.2. Asesülfam K'nın Tarihsel Gelişimi

Asesülfam-K ilk kez 1967 yılında Clauss ve Jensen tarafından Almanya'da yürütülen kimyasal sentez çalışmaları sırasında tesadüfen keşfedilmiştir. Organik bir asidin potasyum ile kombinasyonundan elde edilen bu bileşik, sakkarozla kıyasla yaklaşık 200 kat daha yüksek tatlılık gücüne sahip olması nedeniyle kısa sürede gıda endüstrisinin dikkatini çekmiştir. Keşfinden sonra hem Avrupa'da hem de Amerika'da farklı araştırma grupları tarafından toksikolojik özellikleri değerlendirilmiş ve yapay tatlandırıcılar arasında potansiyel adaylardan biri olarak kabul edilmiştir.

Asesülfam-K, 1983 yılında ilk kez JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) tarafından değerlendirilmiş ve köpekler üzerinde yapılan toksikolojik çalışmalar ışığında günlük kabul edilebilir alım (ADI) değeri 9 mg/kg olarak belirlenmiştir. Ancak 1991 yılında yapılan yeniden değerlendirmede, iki yıl süren sıçan çalışmaları temel alınarak ADI değeri 15 mg/kg'a yükseltilmiştir. JECFA raporlarındaki bu değişikliğin, türler arası yaşam süresi farklılıklarından kaynaklandığı ve sıçanlardaki uzun dönem çalışmaların sonuçlarının insanlara uyarlanabilirlik açısından daha güvenilir kabul edildiği belirtilmiştir.

Avrupa Birliği Bilimsel Gıda Komitesi (SCF) ise 1985 yılında Asesülfam-K için yaptığı ilk değerlendirmede ADI değerini 9 mg/kg olarak kabul etmiştir. Ancak 1991 ve 2000 yıllarında yapılan yeniden incelemelerde, bu değer artırılması için yeterli bilimsel kanıtın bulunmadığı rapor edilmiştir. Buna karşılık, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) 1988'de Asesülfam-K'nın gıdalara ilave edilmesini ve masa üstü tatlandırıcı olarak kullanımını onaylamış, 1998'de içeceklerde kullanımına izin vermiş ve 2003 yılında da genel tatlandırıcı olarak tüm yiyecek ve içeceklerde kullanımını serbest bırakmıştır. FDA da ADI değerini 15 mg/kg olarak kabul etmiştir.

Bu onayların ardından 1990'lı yıllardan itibaren Asesülfam-K, başta Avrupa ve Amerika olmak üzere dünya genelinde birçok ülkede yaygın kullanım alanı bulmuştur. Özellikle düşük kalorili içecekler, tatlılar, sakız, süt ürünleri ve unlu mamuller gibi geniş bir ürün grubunda yer almaya başlamıştır. Bununla birlikte, Asesülfam-K'da tatlı tadın algılanma hızı diğer tatlandırıcılara göre daha yüksek olmakla birlikte, tat uzun süre kalıcı değildir. Ayrıca yüksek

konsantrasyonlarda acımsı tat baskın olarak hissedilmektedir. Bu nedenle endüstride genellikle aspartam, siklamat veya sukraloz gibi diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanılmakta ve böylece tat profili daha dengeli hale getirilmektedir.

Asesülfam-K'nın tarihi gelişim süreci yalnızca güvenilirlik tartışmalarıyla değil, aynı zamanda teknolojik avantajlarıyla da şekillenmiştir. Saf formunun oda sıcaklığında raf ömrü, neredeyse sınırsızdır ve ısıya oldukça dayanıklıdır. pH 3,0'a kadar düşen asidik ortamlarda bile stabilitesini koruyabilmesi, onu özellikle içeceklerde ve uzun raf ömrü gerektiren ürünlerde kullanışlı kılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde 2000'li yıllardan itibaren gıda endüstrisinin en çok tercih edilen tatlandırıcılarından biri haline gelmiştir.

Asesülfam-K, 1967'deki tesadüfi keşfinden günümüze kadar geçen süreçte, JECFA, SCF, EFSA ve FDA gibi uluslararası otoriteler tarafından defalarca değerlendirilen, ADI değeri belirlenen ve güvenilirliği üzerine halen tartışmaların devam ettiği bir tatlandırıcı olmuştur. Gıda endüstrisinde tarihsel yolculuğu hem bilimsel araştırmalar hem de düzenleyici kurumların kararlarıyla şekillenmiş ve günümüzde küresel ölçekte kullanılan sentetik tatlandırıcılardan biri haline gelmiştir.

1.3. Asesülfam K'nın Üretimi

Asesülfam-K, organik kimya alanındaki sentez çalışmaları sonucunda elde edilen sülfamid grubu bir bileşiktir. Üretim sürecinde temel olarak **asetoasetik asit türevleri** ile **sülfonamid türevlerinin** reaksiyona sokulması ve ardından potasyum tuzu formuna dönüştürülmesi ile sentezlenmektedir. Bu süreç sonunda elde edilen potasyum asesülfam, beyaz kristal formunda ve suda kolay çözünebilen bir yapıya sahiptir.

Endüstriyel ölçekte üretimde, **asetilsülfon** ve **siyanür türevleri** kullanılarak gerçekleştirilen reaksiyonlar yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu reaksiyonların ardından kristalizasyon aşaması uygulanmakta ve yüksek saflıkta ürün elde edilmektedir. Asesülfam-K'nın endüstriyel üretiminde tercih edilen bu yöntem, hem yüksek verim sağlaması hem de maliyet etkinliği nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Elde edilen ürün, doğrudan gıda endüstrisine aktarılmadan önce arıtılmakta ve uluslararası gıda güvenliği standartlarına uygun hale getirilmektedir.

Üretim sonrası Asesülfam-K, saf formda oldukça stabil bir bileşiktir. Raf ömrü oda sıcaklığında neredeyse sınırsızdır ve ısıya dayanıklılığı sayesinde farklı gıda işleme yöntemlerine karşı direnç göstermektedir. Bu özellik, üretim

sürecinin yalnızca kimyasal sentezle sınırlı kalmamasına, aynı zamanda ürünün depolama ve lojistik aşamalarında da güvenilirliğini korumasına olanak sağlamaktadır.

Günümüzde Asesülfam-K, dünya genelinde farklı ülkelerde büyük ölçekli tesislerde üretilmektedir. Üretim süreci yalnızca gıda endüstrisinin ihtiyaçlarına değil, aynı zamanda farmasötik ürünler ve diş macunu gibi kişisel bakım ürünlerine yönelik talebe de cevap vermektedir. Özellikle gıda sektöründe, üretimdeki stabilite ve maliyet etkinliği, Asesülfam-K'nın yapay tatlandırıcılar arasında öne çıkmasına neden olmaktadır.

1.4. Asesülfam K'nın Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Asesülfam-K (E950), beyaz kristal yapıda, kokusuz ve hafif acımsı bir tada sahip olan bir bileşiktir. Moleküler formülü $C_4H_4KNO_4S$ olup, sülfamid grubuna dahil bir bileşik olarak sınıflandırılmaktadır. Fiziksel görünümü sakkaroz benzemektedir. İnce kristaller veya granüller halinde bulunabilmektedir. Kristal yapısının kararlı olması, uzun süre depolandığında bile yapısal değişim göstermemesini sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, oda sıcaklığında altı yıldan daha uzun süre muhafaza edilen Asesülfam-K örneklerinin ışığa maruz bırakılmaları halinde dahi yapısal farklılık göstermediğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, üretim sonrası depolama ve lojistik aşamalarında herhangi bir bozulma riski olmadan taşınabilmektedir. Bu özellik, gıda endüstrisinde hem duyuşsal hem de teknolojik açıdan kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Kristal formunun en önemli avantajlarından bir diğeri ise, ürünün farklı gıda matrislerine kolaylıkla entegre edilebilmesidir. Toz halinde masa üstü tatlandırıcı olarak kullanılabilmekte, granül formu ise içecek karışımlarında ve endüstriyel formülasyonlarda tercih edilmektedir. Kristal yapısının ışık ve ısıya karşı yüksek dayanıklılık göstermesi, Asesülfam-K'yı özellikle uzun raf ömrü gerektiren ürünlerde tercih edilen bir tatlandırıcı haline getirmektedir.

Asesülfam-K hidrofilik bir yapıya sahiptir ve suda yüksek çözünürlük göstermektedir. Fakat su içerisindeki çözünürlüğü, sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. 20°C'de 100 ml suda yaklaşık 27 gram çözünebilen bu bileşiğin çözünürlüğü, sıcaklık arttıkça yükselmekte ve 100°C'de 130 g/100 ml seviyesine çıkmaktadır. Buna karşılık, alkolde çözünürlüğü oldukça sınırlıdır; 20°C'de 100 ml etanolde sadece 0,1 g çözünmektedir. Sulu çözeltilerde Asesülfam-K'nın kolay çözünmesi, ürün formülasyonlarında homojen dağılımını kolaylaştırmakta ve tatlılığın eşit şekilde algılanmasına katkı sağlamaktadır.

Ayrıca geniş bir pH aralığında çözünürlüğünü koruması, Asesülfam-K'yı diğer tatlandırıcılardan ayıran en önemli faktörlerden biridir. Oda sıcaklığında saklandığında raf ömrü neredeyse sınırsızdır. Işığa maruz kalsa dahi yapısal bir bozulma göstermemekte, uzun süre depolandığında yeni üretilmiş örneklerle benzer özellikler taşımaktadır. Ayrıca geniş bir pH aralığında stabil kalabilmektedir. Bu özelliği sayesinde asidik içeceklerden, nötr pH değerine sahip süt ürünlerine kadar geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle gazlı içecekler, yoğurtlar ve aromalı sütlerde Asesülfam-K'nın tercih edilme nedenlerinden biri de bu çözünürlük özelliği olmaktadır. Isıya dayanıklılığı sayesinde pişirme, pastörizasyon ve fırınlama gibi işlemlerden sonra dahi tat özelliğini koruyabilmektedir.

Asesülfam-K'nın organoleptik özellikleri, özellikle tatlılık algısı ve tat profili açısından dikkat çekmektedir. Aspartam ve Alitam gibi diğer tatlandırıcılara kıyasla tatlılık algısı daha hızlı gelişmektedir. Ağızda sakkarozla benzer bir etki yaratmaktadır. Ancak bu tatlılık algısı uzun süre kalıcı olmamakta, kısa bir süre içerisinde kaybolmaktadır. Bu nedenle, özellikle tek başına kullanıldığında tatlılık etkisinin zayıf bulunduğu ve tüketiciler tarafından sakkarozla kıyasla daha kısa süreli bir tatlılık algısı yarattığı ifade edilmektedir.

Yapılan duyuusal değerlendirmelerde Asesülfam-K'nın yüksek konsantrasyonlarda acımsı veya metalik bir art tat bıraktığı rapor edilmiştir. Bu durumun yalnızca tatlılık algısından sorumlu olan T1R3 reseptörlerinin değil, aynı zamanda acı algısıyla ilişkili TRPV1, hTAS2R43 ve hTAS2R44 reseptörlerinin uyarılmasından kaynaklandığı bildirilmektedir. Buna rağmen gıda ürünlerinde düşük konsantrasyonlarda kullanıldığında bu olumsuz tat algısı önemli düzeyde ortadan kalkmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda Asesülfam-K'nın diğer tatlandırıcılarla kombine kullanımı sayesinde daha dengeli bir tat profilinin elde edilmesi tercih edilmektedir.

Tatlandırıcıların kombinasyon halinde kullanılması, sadece tat profilini iyileştirmekle kalmamakta, aynı zamanda tatlılık yoğunluğunu da artırmaktadır. Araştırmalar, Asesülfam-K'nın aspartam veya siklamat ile birlikte kullanıldığında tatlılık algısının sukroza kıyasla 300 kata kadar yükseldiğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu kombinasyonlar, tatlılık algısında zamanla ortaya çıkan azalmayı sınırlamakta ve tüketicilerin daha uzun süre tatlı tadı algılamasına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle Asesülfam-K, tek başına kullanıldığında sahip olduğu sınırlı organoleptik avantajlarını diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanıldığında daha belirgin bir hale getirmektedir.

Asesülfam-K, tüketiciler tarafından hızlı algılanan tadı, yüksek tatlılık derecesi, ısıya ve pH değişimlerine karşı gösterdiği stabilite ve uzun raf ömrü nedeniyle gıda endüstrisinde öne çıkan tatlandırıcılardan biridir. Fizikokimyasal özellikleri sayesinde hem sıvı hem de katı formülasyonlarda kullanılabilmekte ve geniş ürün yelpazesinde ingredient olarak tercih edilmektedir.

1.5. Asesülfam K'nın Kullanım Alanları

Asesülfam-K günümüzde gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan yapay tatlandırıcılardan biridir. Isıya ve pH değişikliklerine karşı dayanıklı olması, çok geniş bir ürün yelpazesinde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle içecekler, süt ürünleri, unlu mamuller, dondurmalar, reçeller, şekerlemeler ve sakızlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Geniş pH aralığında stabil kalabilmesi, düşük asiditeye sahip yoğurtlardan yüksek asiditeye sahip gazlı içeceklere kadar farklı formülasyonlarda kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Asesülfam-K sadece gıda sektöründe değil, aynı zamanda farmasötik ürünlerde ve kişisel bakım ürünlerinde de kullanılmaktadır. Şurup formundaki ilaçlarda tadı iyileştirmek için formülasyona eklenmekte, diş macunlarında ise tat algısını artırıcı bir bileşen olarak yer almaktadır. Bu özellikleri sayesinde yalnızca gıda endüstrisinde değil, sağlık ürünlerinde de tercih edilen bir katkı maddesi haline gelmiştir. Ayrıca enerji değeri sıfıra yakın olduğu için özellikle diyabetik ürünlerde ve kilo kontrolüne yönelik diyet gıdalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Endüstride Asesülfam-K'nın sıklıkla diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanılması da dikkat çekmektedir. Özellikle aspartam ile kombinasyon halinde kullanıldığında daha dengeli bir tat profili oluşmakta, sukraloz ile birlikte kullanıldığında ise ürünün raf ömrü uzayabilmektedir. Kombinasyon kullanımı sayesinde hem tat kalitesi yükselmekte hem de daha düşük miktarlarda tatlandırıcı kullanılarak maliyet etkinliği sağlanmaktadır. Bu nedenlerle Asesülfam-K, günümüzde tek başına bir tatlandırıcı olmasının ötesinde, farklı tatlandırıcılarla birlikte kullanılan çok amaçlı bir katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir.

1.6. Sonuç

Asesülfam-K, günümüzde en yaygın kullanılan yapay tatlandırıcılardan biri olup, düşük kalori değeri ve teknolojik avantajlarıyla gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Keşfinden itibaren JECFA, SCF ve FDA gibi uluslararası otoriteler tarafından güvenlik değerlendirmelerine tabi tutulmuş ve kabul

edilebilir günlük alım düzeyi güncellenerek 15 mg/kg olarak belirlenmiştir. Isıya dayanıklı olması ve geniş pH aralıklarında stabilitesini koruması, onun yalnızca soğuk içeceklerde değil, fırıncılık ürünleri, sütlü tatlılar, dondurma ve farmasötik preparatlar gibi çeşitli ürünlerde de kullanımına imkân tanımaktadır. Tek başına kullanıldığında bazen acı veya metalik bir tat bırakabilmesine rağmen, diğer tatlandırıcılarla kombinasyon halinde daha dengeli bir tat profili sağlamaktadır. Bu özellikleri sayesinde, kalori alımının azaltılması gereken beslenme modellerinde şeker yerine güvenle tercih edilen önemli bir katkı maddesi haline gelmiştir.

2. SIKLAMAT VE SAKARİN

2.1. Siklamat ve Sakarin'in Tanımı

Siklamat (E952), gıda katkı maddesi olarak kullanılan sentetik tatlandırıcılar arasında yer almakta olup, sikloheksil sülfamik asidin sodyum ve kalsiyum tuzları halinde bulunabilmektedir. Tatlılık derecesi sakkarozdan yaklaşık 30 kat daha fazla olmakla birlikte, düşük tatlandırıcı gücü nedeniyle tek başına yeterli bir tat profili sağlayamamaktadır. Bu nedenle endüstride genellikle sakarin, aspartam veya asesülfam-K gibi diğer tatlandırıcılarla kombinasyon halinde kullanılmakta ve böylece sinerjistik bir tatlılık etkisi sağlanmaktadır. Siklamatın en önemli özelliklerinden biri, kalori içermemesi ve metabolizma üzerinde doğrudan enerji sağlayıcı bir etkisinin olmamasıdır. Bu özelliği, düşük kalorili ürünlerde ve özellikle diyabetik bireylere yönelik geliştirilen formülasyonlarda sıkça kullanılmasına imkân tanımaktadır. Ayrıca siklamat, sindirim sisteminde büyük oranda metabolize edilmeden atılmakta, yalnızca küçük bir bölümü bağırsak florası tarafından sikloheksilaminin adlı türev bileşiğe dönüştürülmektedir. Sikloheksilaminin toksikolojik açıdan olası riskleri tartışma konusu olmakla birlikte, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve JECFA tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda günlük kabul edilebilir alım (ADI) miktarı 11 mg/kg olarak belirlenmiştir.

Sakarin (E954) ise yapay tatlandırıcıların tarihsel açıdan en eski örneklerinden biri olup, kimyasal yapısı itibarıyla o-sülfobenzimid grubuna dâhil edilmektedir. Sodyum, potasyum ve kalsiyum tuzları formunda kullanılabilen sakarinin tatlılık derecesi sakkarozdan yaklaşık 300–500 kat daha yüksektir. Bu yüksek tatlılık gücü sayesinde çok düşük miktarlarda kullanıldığında dahi güçlü bir tatlılık etkisi ortaya çıkarmaktadır. Enerji içermemesi, özellikle diyabet hastaları için uzun yıllar boyunca önemli bir avantaj olarak değerlendirilmiştir.

Ancak yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığında metalik veya acımsı bir tat bırakması, sakarinin endüstride genellikle diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle siklamat ile kombinasyon halinde kullanıldığında, tatlılık algısında belirgin bir artış sağlanmakta ve tüketicilerin olumsuz duyuusal deneyimleri azaltılabilmektedir. Bu nedenle sakarin günümüzde tek başına kullanılmakla birlikte, çoğunlukla kombinasyon halinde kullanım stratejisiyle formülasyonlara eklenmektedir.

2.2. Siklamat ve Sakarin'in Tarihsel Gelişimi

Siklamat, 1937 yılında Illinois Üniversitesi'nde Michael Sveda tarafından tamamen tesadüfi bir şekilde keşfedilmiştir. Araştırmacının laboratuvarında sigarasını deneysel olarak sentezlenen bileşiklere temas ettirmesi sonucu tatlı bir tadın ortaya çıktığını fark etmesiyle, siklamatin tatlandırıcı özelliği fark edilmiştir. 1950'li yıllarda ticari üretimine başlanmış ve kısa sürede gazlı içeceklerden diyet ürünlerine kadar geniş bir kullanım alanı bulmuştur. 1960'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde düşük kalorili diyet ürünlerinde popüler hale gelen siklamat, 1969 yılında ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından hayvan deneylerinde mesane kanseri ile ilişkilendirilmesi üzerine yasaklanmıştır. Buna rağmen Avrupa Birliği ülkelerinde ve Türkiye'de belirlenen sınırlar dahilinde kullanımına izin verilmiştir. Günümüzde siklamat, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından 7–11 mg/kg aralığında günlük kabul edilebilir alım miktarı ile güvenli kabul edilmektedir.

Sakarin ise 1879 yılında Johns Hopkins Üniversitesi'nde Constantin Fahlberg tarafından keşfedilmiş ve literatürde bilinen ilk yapay tatlandırıcı olarak yer almaktadır. Fahlberg'in kömür katranı türevleri üzerine yaptığı araştırmalar sırasında tatlılık özelliğinin fark edilmesi, sakarinin endüstride hızla tanınmasına yol açmıştır. Özellikle Birinci ve İkinci Dünya Savaşları sırasında yaşanan şeker kıtlığı dönemlerinde sakkarozaya alternatif olarak yaygın şekilde kullanılmıştır. 20. yüzyıl boyunca diyabetik bireyler için en çok tercih edilen tatlandırıcı olmasına rağmen, 1970'li yıllarda yapılan hayvan çalışmalarında mesane tümörlerine yol açabileceği yönünde bulgular elde edilmiştir. Bu durum uluslararası düzeyde tartışmalara neden olmuştur. Ancak daha sonraki toksikolojik çalışmaların sonuçları, bu bulguların insanlara doğrudan uyarlanamayacağını göstermiştir. Günümüzde FDA ve EFSA, sakarini güvenli tatlandırıcılar arasında sınıflandırmakta ve kabul edilebilir günlük alım (ADI) miktarını 5 mg/kg olarak belirlemektedir.

2.3. Siklamat ve Sakarin'in Üretimi

Siklamatin endüstriyel üretimi, sikloheksilamin ile sülfamik asidin asit katalizörleri varlığında reaksiyona sokulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda sikloheksil sülfamat oluşmakta ve daha sonra sodyum veya kalsiyum tuzları formuna dönüştürülerek gıda katkı maddesi olarak kullanılabilir hale getirilmektedir. Elde edilen ürünün yüksek saflıkta olması için kristalizasyon ve saflaştırma aşamaları uygulanmakta, toksik kalıntıların uzaklaştırılmasına özen gösterilmektedir. Özellikle gıda endüstrisi için üretilen siklamatin kalıntı düzeyleri uluslararası güvenlik standartlarıyla sınırlandırılmıştır.

Sakarin üretimi ise tarihsel süreçte farklı yöntemlerle gerçekleştirilmiş olup, günümüzde özellikle Remsen–Fahlberg sentezi ve orto-toluensülfonamid türevlerinden hareketle uygulanan modern yöntemlerin uygulanmasını içermektedir. İlk yöntemde kömür katranı türevlerinden elde edilen ara ürünler üzerinden siklik yapının oluşturulmasıyla sakarin sentezlenmektedir. Ancak günümüzde daha ekonomik ve verimli yöntemler tercih edilmekte, o-toluen türevlerinin sülfanilasyon ve oksidasyon basamaklarıyla sakarine dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Bu süreç sonucunda sodyum, potasyum veya kalsiyum tuzları formunda elde edilen sakarin, kristalizasyon yoluyla saflaştırılmakta ve farklı kullanım alanlarına sunulmaktadır.

Üretim sürecinde siklamat ve sakarin için en kritik nokta, oluşabilecek yan ürünlerin kontrol altına alınmasıdır. Özellikle siklamatin üretiminde açığa çıkabilen sikloheksilamin metabolitinin güvenlik değerlendirmeleri, uzun yıllardır tartışma konusudur. Benzer şekilde sakarin üretiminde kullanılan kimyasal ara basamakların güvenilir şekilde yürütülmesi, ürünün gıda endüstrisinde kullanımına uygun hale gelmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle her iki tatlandırıcının üretimi de, çok aşamalı saflaştırma ve kalite kontrol süreçleriyle desteklenmektedir. Böylece elde edilen ürünler JECFA ve EFSA gibi otoritelerin belirlediği standartlara uyumlu hale getirilmektedir.

Günümüzde bu üretim yöntemleri sayesinde hem siklamat hem de sakarin düşük maliyetle, yüksek verimle ve geniş ölçekli üretime uygun şekilde elde edilebilmektedir. Ayrıca üretim sürecindeki gelişmeler, bu tatlandırıcıların farmasötik ürünlerden gıda sanayisine kadar farklı sektörlerde güvenli biçimde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle tatlılık gücü ve stabilite avantajları göz önünde bulundurulduğunda, siklamat ve sakarinin endüstriyel üretimlerinin sadece ekonomik değil, aynı zamanda teknolojik açıdan da stratejik bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

2.4. Siklamat ve Sakarin'in Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Siklamat ve sakarin, yapay tatlandırıcıların gıda endüstrisinde tercih edilmesini sağlayan çeşitli fizikokimyasal ve organoleptik özelliklere sahiptir. Bu tatlandırıcıların en önemli avantajlarından biri, oda sıcaklığında kararlı kristal yapıda olmalarıdır. Beyaz renkli, kristalimsi ve kokusuz formda bulunmaları sayesinde gıda ürünlerine eklendiklerinde, ürünlerin doğal görünümünde ve kokusunda herhangi bir değişime neden olmamaktadırlar. Tatlandırıcıların bu özelliği, özellikle görsel bütünlüğün önemli olduğu şekerleme, unlu mamuller ve içecek üretiminde büyük önem taşımaktadır. Siklamat kristalleri genellikle daha iri ve taneli yapıya sahipken, sakarin kristalleri daha ince ve parlak yüzeyle olabilmektedir. Kristalimsi yapıları aynı zamanda kolay öğütülmelerini ve farklı partikül boyutlarında ticari formlara dönüştürülmelerini mümkün kılmaktadır. Toz formda, tablet halinde ya da sıvı çözeltiler halinde pazarlanmaktadır. Kristalimsi yapı aynı zamanda depolama sırasında dayanıklılığı artırmakta, ılık ve sıcaklık etkilerine karşı ürüne direnç kazandırmaktadır. Bunun sebebi sakarin ve siklamatın higroskopik olmamalarıdır. Nem çekme eğilimleri düşük olduğundan depolama sırasında topaklanma ya da yapısal bozulma gözlenmemektedir. Bu durum, endüstride paketleme ve raf ömrü açısından üreticilere kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca tatlandırıcıların fiziksel stabiliteyi, onları yalnızca gıda ürünlerinde değil, diğ macunu ve farmasötik preparatlar gibi nemli ortamlara maruz kalabilen ürünlerde de kullanım için uygun hale getirmektedir.

Bir diğere önemli özellikleri ısıya dayanıklılıkları ve farklı pH aralıklarında gösterdikleri stabilitedir. Yapılan çalışmalar hem siklamat hem de sakarinin yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olduğunu, bu nedenle yalnızca soğuk içeceklerde değil, aynı zamanda fırıncılık ürünleri, tatlılar ve pastacılık ürünlerinde de kullanılabilirliklerini göstermektedir. Ayrıca bu tatlandırıcıların asidik ortamlarda dahi yapılarında bozulma meydana gelmemesi, düşük pH değerine sahip gazlı içeceklerde güvenle kullanılabilirliklerini sağlamaktadır. Isıya dayanıklılık ve pH stabilitesi, şeker yerine kullanılacak tatlandırıcılarda en kritik özellikler arasında yer aldığından, siklamat ve sakarin üreticilere büyük avantajlar sunmaktadır.

Siklamat çözünürlük bakımından oldukça avantajlıdır. Özellikle sodyum tuzu halinde suda yüksek çözünürlük göstermekte, düşük sıcaklıklarda dahi homojen çözelti elde edilebilmektedir. Bu nedenle diyet içeceklerde, gazlı içeceklerde ve sıvı tatlandırıcı formülasyonlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Siklamatin çözünürlük kapasitesi, pH değişimlerinden büyük ölçüde etkilenmemekte, asidik içeceklerde dahi tatlılık gücü korunmaktadır. Bu özellik, özellikle sitrik asit içeren içeceklerde kullanımını kolaylaştırmaktadır. Sakarin de yüksek çözünürlüğü ile dikkat çekmektedir. Saf formunda çözünürlüğü sınırlıdır. En yaygın ticari formu olan sodyum sakarin ise suda çok kolay çözünmekte ve gıda ürünlerinde tatlılığın homojen dağılmasını sağlamaktadır. Ayrıca sakarinin düşük miktarlarda kullanılması bile yüksek tatlılık etkisi oluşturduğundan, çözünürlük açısından küçük miktarlarda kullanımıyla güçlü sonuçlar elde edilebilmektedir. Sakarin, asidik ortamlarda ve yüksek sıcaklıklarda çözünürlüğünü koruyabilmektedir. Bu nedenle özellikle gazlı içecek, reçel ve fırıncılık ürünlerine ait formülasyonlarda kullanımı tercih edilmektedir.

Bu tatlandırıcıların uzun raf ömrüne sahip olmaları oldukça dikkat çekici özelliklerindedir. Nem, ışık ve sıcaklık değişimlerine karşı dirençli olmaları, sakarin ve siklamatin depolama sırasında tatlılık özelliklerini kaybetmeden kullanılabilmesine imkân tanımaktadır. Özellikle endüstriyel üretimde, raf ömrünün uzun olması üreticiye ekonomik açıdan avantaj sağlamakta, aynı zamanda ürünlerin farklı coğrafi bölgelerde güvenle dağıtılabilesine olanak tanımaktadır. Sakarin ve siklamatin oksidatif bozulmaya karşı dayanıklı yapıları, bu bileşiklerin stabilitesini artırmakta ve kalite kayıplarını önlemektedir. Dolayısıyla, yalnızca tatlılık gücü açısından değil, uzun süreli depolama koşullarına uygunlukları bakımından da gıda sanayi tarafından tercih edilmektedirler.

Siklamat ve sakarin, yüksek tatlılık dereceleri ve duyuşal özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Siklamatin tatlılığı sakkarozdan yaklaşık 30 kat, sakarinin ise 200–700 kat daha fazladır. Siklamat şekerin verdiği tat profiline daha yakın bir algı sunarken, sakarin yoğun bir tatlılık ile birlikte bazen hafif acı veya metalik bir tat bırakabilmektedir. Bu nedenle sakarinin tek başına kullanımında bazı tüketiciler olumsuz bir ağızda kalış hissi bildirmektedir. Buna karşılık, siklamat ve sakarinin birlikte kullanılması bu olumsuz algıyı azaltmakta ve daha doğal bir tat profili sağlamaktadır.

Tatlılık algısının başlangıç süresi ve kalıcılığı bakımından da iki tatlandırıcı arasında farklılıklar bulunmaktadır. Siklamat, sakkarozla kıyasla daha yumuşak bir giriş ve daha uzun süreli bir tatlılık kalıcılığı sağlamaktadır. Sakarin ise tatlılığı hızlı başlatmakta fakat yoğunluğu nedeniyle kısa süre içinde baskın bir etki oluşturabilmektedir. Bu nedenle tatlılık algısında denge sağlamak için endüstride sıklıkla ikisinin kombinasyonu tercih edilmektedir. Bu kombinasyon,

sadece tat algısını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda sinerjik bir etki yaratarak tatlılık gücünü artırır ve daha düşük miktarlarda kullanım imkânı sunar.

Organoleptik özellikler yalnızca tat algısıyla sınırlı değildir; tüketici deneyimi üzerinde bıraktıkları etki de önemlidir. Yapılan çalışmalar, sakarin ve siklamat karışımlarının özellikle içeceklerde tüketiciler tarafından daha çok beğenildiğini göstermektedir. Çünkü sakarinin oluşturduğu acı veya metalik tadın siklamat tarafından dengelendiği görülmüştür. Bu durum, tatlandırıcıların bireysel kullanımına kıyasla kombine kullanımının daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bu tatlandırıcıların düşük konsantrasyonlarda bile güçlü tatlılık sağlamaları, kalori alımını sınırlarken duyuşal tatmin sunmalarına olanak tanımaktadır.

Son olarak, siklamat ve sakarinin organoleptik özellikleri yalnızca duyuşal tat deneyimiyle değil, aynı zamanda kültürel ve tüketici tercihleriyle de ilişkilidir. Bazı pazarlarda sakarinin tat profili daha yoğun kabul görmekte, bazı bölgelerde ise siklamatın daha yumuşak tadı tercih edilmektedir. Bununla birlikte, global düzeyde en çok kullanılan formülasyon, iki tatlandırıcının kombine edildiği ürünlerdir. Bu kombinasyon, tatlılık yoğunluğunu artırırken, tüketici beklentilerine daha uygun bir tat profili sunmakta ve uzun süreli pazar başarısı sağlamaktadır.

Bu özellikler birlikte değerlendirildiğinde, siklamat ve sakarin duyuşal, işlevsel ve teknolojik avantajlarıyla gıda katkı maddesi olarak öne çıkmaktadır. Fizikokimyasal ve organoleptik özellikleri, bu tatlandırıcıların çok çeşitli gıda kategorilerinde güvenle kullanımını mümkün kılmaktadır. Ayrıca bu özellikler, tatlandırıcıların kombinasyon halinde kullanıldığında daha dengeli bir tat profili oluşturmaya katkı sağlamak ve gıda endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmelerinin temel nedenlerini açıklamaktadır.

2.5. Siklamat ve Sakarin'in Kullanım Alanları

Siklamat ve sakarin, düşük kalorili yapıları ve yüksek tatlılık güçleri sayesinde gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulan yapay tatlandırıcılardır. Sakkarozaya kıyasla daha az enerji sağlamaları, özellikle obezite ve diyabet gibi metabolik hastalıkların kontrolünde diyet ürünlerinde tercih edilmelerini sağlamaktadır. Gazlı içecekler, meyve suları, süt ürünleri, şekerleme, dondurma ve sakız gibi birçok üründe şeker yerine kullanılarak kalori alımının azaltılmasına katkıda bulunmaktadırlar.

Sakarin, şekerden yüzlerce kat daha tatlı olması nedeniyle çok düşük miktarlarda kullanılsa da yoğun tatlılığı ve bazen ortaya çıkan acı-metallik tadı

nedeniyle tek başına sınırlı kullanıma sahiptir. Ancak siklamat ile kombinasyonu, bu olumsuz algıyı azaltarak daha dengeli bir tat profili sağlamaktadır. Bu sinerjik etki, özellikle diyet içeceklerde ve şekerlemelerde tercih edilmekte, tüketicilerin doğal şekere daha yakın bir tat deneyimi yaşamasına imkân vermektedir.

Her iki tatlandırıcı da sadece gıda sektöründe değil, aynı zamanda farmasötik ve kişisel bakım ürünlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablet formundaki ilaçlarda şekerin yerini alarak daha kolay tüketim sağlamakta, ağız bakım ürünlerinde (özellikle diş macunu ve gargara) şeker yerine tatlandırıcı görevi görerek diş çürüklerini teşvik etmemektedir. Bu özellikleri sayesinde yalnızca tat algısını düzenlemekle kalmayıp, aynı zamanda diş sağlığına katkıda buldukları belirtilmektedir.

Günümüzde siklamat ve sakarinin kullanım alanları sadece ürün çeşitliliğiyle sınırlı kalmamış, aynı zamanda beslenme politikaları ve tüketici taleplerine bağlı olarak artış göstermiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve FDA gibi kurumlar, kalori kısıtlaması gereken bireyler için yapay tatlandırıcıların kontrollü kullanımını önermekte, gıda sanayi için bu katkı maddelerinin güvenli kullanım aralıklarını belirlemektedir. Bu bağlamda, tatlandırıcıların tüketici sağlığını riske atmadan daha geniş ürün portföyünde değerlendirilmesi mümkün hale gelmiştir.

2.6. Sonuç

Siklamat ve sakarin, yapay tatlandırıcıların gelişim sürecinde tarihsel olarak önemli bir yere sahip olmuş ve günümüzde de gıda endüstrisinde sıkça kullanılan bileşenler arasında yer almıştır. Sakarin, şekerden yüzlerce kat daha tatlı olması nedeniyle düşük miktarlarda güçlü tatlılık sağlamaktadır; ancak yoğun kullanıldığında hafif acı ya da metalik bir tat bırakabilmektedir. Buna karşın siklamat, daha yumuşak ve şekere yakın tat profili sunmakta ve bu nedenle genellikle sakarin ile kombinasyon halinde tercih edilmektedir. Bu kombinasyon, hem sinerjik bir etkiyle tatlılık gücünü artırmakta hem de tüketici tarafından daha doğal algılanan bir tat profili oluşturmaktadır. Her iki tatlandırıcı da ısıya ve asidik ortamlara karşı dayanıklılıkları, uzun raf ömrü ve yüksek çözünürlükleri sayesinde gazlı içeceklerden şekerlemelere, süt ürünlerinden farmasötiklere kadar geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Toksikolojik değerlendirmelerde zaman zaman tartışmalı sonuçlar ortaya konulsa da, uluslararası otoritelerce belirlenen sınırlar içinde kullanımları güvenli kabul edilmekte ve günümüzde şekerin en önemli alternatifleri arasında yer almaktadırlar.

3. ASPARTAM, NEOTAM VE ADVANTAM

3.1. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Tanımı

Aspartam, düşük kalorili yoğun tatlandırıcılar arasında en çok bilinenlerden biridir. Kimyasal olarak L-aspartik asit ve L-fenilalanininden oluşan bir dipeptid metil esteridir. Tatlılık derecesi sakkarozdan yaklaşık 180–200 kat daha yüksektir ve özellikle içecekler, süt ürünleri, tatlılar ve sakızlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yapısında fenilalanin bulunduğu için fenilketonüri hastaları tarafından tüketilmesi sakıncalıdır. Aspartamın en önemli özelliklerinden biri, kalori değerinin çok düşük olması ve tatlılık algısının sakkarozla oldukça benzer bir profile sahip olmasıdır.

Neotam, aspartamın yapısal bir türevi olarak geliştirilmiş, yeni nesil bir yoğun tatlandırıcıdır. Aspartamdan farklı olarak kimyasal yapısına 3,3-dimetilbutil grubu eklenmiştir. Bu küçük değişiklik, tatlılık gücünü önemli ölçüde artırmış ve sakkarozdan yaklaşık 7.000–13.000 kat daha tatlı bir bileşik haline getirmiştir. Ayrıca fenilketonüri bireyler için güvenli kabul edilmektedir. Neotam, ısıya ve pH değişimlerine karşı aspartamdan daha kararlı olması sayesinde fırıncılık ürünleri ve asidik içeceklerde de kullanılabilir. Neotam, ısıya ve pH değişimlerine karşı aspartamdan daha kararlı olması sayesinde fırıncılık ürünleri ve asidik içeceklerde de kullanılabilir.

Advantam ise aspartam ve vanilin türevlerinin kombinasyonu ile elde edilen bir tatlandırıcıdır. Yapısında fenilalanin bulunmasına rağmen, metanolün metilasyonuna bağlı gerçekleşen yapısal farklılıklar nedeniyle fenilketonüri hastaları için risk oluşturmamaktadır. Sakkarozdan 20.000 kata kadar daha tatlı olmasıyla bilinen advantam, günümüzde bilinen en güçlü tatlandırıcılardan biridir. Bu yoğun tatlılık derecesi sayesinde çok düşük miktarlarda kullanılmakta ve gıda formülasyonlarında enerji katkısını minimum seviyeye indirmektedir. Ayrıca yüksek ısılarda ve asidik ortamlarda kararlılığı ile dikkat çekmektedir.

Aspartam, neotam ve advantam kimyasal yapı bakımından birbirine yakın; tatlılık gücü ve stabilite özellikleri açısından ise farklılıklar gösteren tatlandırıcılardır. Aspartam şeker benzeri tat profili nedeniyle uzun yıllardır en çok kullanılan sentetik tatlandırıcılardan biri olmuştur. Neotam ve advantam ise daha yüksek tatlılık dereceleri ve geliştirilmiş stabilite özellikleriyle yeni nesil alternatifler arasında yerini almıştır. Bu tatlandırıcıların tamamı, düşük enerji içerikleri ve yoğun tatlılık kapasiteleri sayesinde özellikle kalori kısıtlaması gerektiren diyetlerde önemli katkı maddeleri olarak değerlendirilmektedir.

3.2. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Tarihsel Gelişimi

Aspartam ilk kez 1965 yılında James Schlatter tarafından peptid türevleri üzerine yapılan bir araştırma sırasında tesadüfen keşfedilmiştir. Bu buluş, yapay

tatlandırıcıların gelişiminde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. Tatlılık derecesinin sakkarozdan yaklaşık 200 kat fazla olduğunun tespit edilmesinin ardından gıda endüstrisinde oldukça ilgi görmeye başlamıştır. Ancak aspartamın gıdalarda kullanımı sürecinde bazı tartışmalar da yaşanmıştır. ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) 1974'te aspartamın belirli ürünlerde kullanımını onaylamıştır. Fakat olası nörotoksik ve karsinojenik etkileri üzerine ortaya çıkan kaygılar nedeniyle izinler askıya alınmıştır. Yapılan kapsamlı toksikolojik çalışmaların ardından 1981 yılında yeniden değerlendirilen aspartam, gazlı içeceklerde kullanım için onaylanmış, 1983'te ise genel tatlandırıcı olarak tüm gıdalarda kullanımına izin verilmiştir. Avrupa'da ise 1994 yılında kullanımına başlanmış; 2002'de EFSA tarafından yeniden gözden geçirilerek güvenli olduğu teyit edilmiştir.

Neotam, aspartamın yapısal bir türevi olarak 1990'ların sonunda geliştirilmiş ve 2002 yılında FDA tarafından onaylanmıştır. 2010 yılında ise EFSA tarafından da güvenli bulunarak Avrupa Birliği'nde kullanımı serbest bırakılmıştır. Neotamın yapısında 3,3-dimetilbutil grubunun bulunması, sakkarozu göre 7.000–13.000 kat daha tatlı olmasına yol açmıştır. Ayrıca fenilalanin metabolizmasını etkilemediği için fenilketonüri hastaları açısından güvenli kabul edilmiştir. Bu özellikleri sayesinde neotam, sadece tatlılık gücüyle değil, aynı zamanda daha geniş bir tüketici kitlesine hitap etmesiyle de öne çıkmıştır.

Advantam ise aspartam ve vanilin türevlerinden geliştirilmiş yeni nesil bir tatlandırıcıdır. 2009 yılında Japonya'da, 2013'te EFSA tarafından ve 2014'te FDA tarafından gıdalarda kullanımı onaylanmıştır. Sakkarozdan 20.000 kata kadar daha tatlı olması nedeniyle çok düşük dozlarda kullanımı, günlük enerji alımına katkısını ihmal edilebilir düzeye indirmektedir. Ayrıca fenilketonüri hastaları için güvenli olması, avantajı diğer fenilalanin içeren tatlandırıcılardan ayıran önemli bir özelliktir. Isıya ve pH değişimlerine karşı gösterdiği yüksek stabilite, fırıncılık ürünleri ve asidik içecekler de dâhil olmak üzere geniş bir ürün yelpazesinde kullanılmasına imkân tanımaktadır.

Bu üç tatlandırıcının tarihsel gelişimi, yapay tatlandırıcıların regülasyon ve tüketici algısındaki değişimlerini de yansıtmaktadır. Aspartam uzun yıllar en çok kullanılan yoğun tatlandırıcı olurken, neotam ve advantam daha yüksek tatlılık gücü, daha yüksek stabilite ve fenilketonüriye uygunluk gibi özellikleriyle günümüzde sakkarozun yerini alabilecek yeni nesil alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca WHO ve diğer sağlık otoriteleri, bu tatlandırıcıların kabul edilebilir günlük alım düzeylerini belirleyerek tüketici sağlığını korumaya yönelik düzenlemeleri sürdürmektedir.

3.3. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Üretimleri

Aspartam, endüstriyel ölçekte hem kimyasal sentez hem de enzimatik yöntemlerle üretilen yoğun tatlandırıcılardan biridir. Kimyasal sentez sürecinde L-aspartik asit ve L-fenilalaninin metil esterinin kondensasyonu ile aspartam elde edilir. Bu işlem sırasında yan reaksiyonların önüne geçebilmek amacıyla koruyucu gruplar kullanılır ve sentez sonrasında bu koruyucular uzaklaştırılarak saf ürün elde edilir. Ancak kimyasal yöntem, yüksek enerji gereksinimi ve yan ürün oluşumu gibi nedenlerle, ekonomik ve çevresel açıdan sınırlayıcılara sahiptir. Bu nedenle son yıllarda enzimatik üretim yöntemleri ön plana çıkmıştır. Enzimatik sentezde, proteaz veya özel peptid bağ oluşturuvcu enzimler aracılığıyla L-aspartik asit ile L-fenilalanin metil esteri kontrollü şekilde birleştirilir. Bu yöntem yalnızca daha yüksek saflık sağlamakla kalmaz; aynı zamanda daha düşük enerji tüketimi ve çevreye daha az zarar veren bir üretim süreci sunmaktadır.

Aspartam üretiminin bir diğer önemli aşaması saflaştırma sürecidir. Endüstriyel ölçekte kromatografik ayırma, kristalizasyon ve membran filtrasyon gibi teknikler kullanılarak elde edilen ürün yan ürünlerden arındırılır. Bu sayede farmasötik saflık düzeyine yakın saflıkta aspartam elde edilebilmekte ve gıda güvenliği açısından uluslararası standartlara uyum sağlanmaktadır. Ayrıca üretim sonrası kalite kontrol testlerinin uygulanması tatlılık gücünü, çözünürlük özelliklerini ve stabilite parametrelerini doğrulamak üzere zorunlu hale getirilmiştir.

Neotam üretimi, aspartamın kimyasal yapısına 3,3-dimetilbutil grubunun eklenmesiyle gerçekleştirilir. Bu yapısal modifikasyon, neotamın tatlılık gücünü büyük ölçüde artırırken, aynı zamanda termal stabilitesini de yükseltmektedir. Neotam sentezinde, fenilalanin kısmının kimyasal olarak modifikasyonu için esterifikasyon ve amidasyon reaksiyonları kullanılır. Süreç sonunda yüksek verimliliği sağlamak için çok aşamalı kristalizasyon, çözücü ekstraksiyonu ve ileri kromatografik teknikler uygulanmaktadır. Neotamın avantajı, çok düşük miktarlarda etkin tatlılığa sahip olması nedeniyle üretim maliyetlerini azaltmasıdır. Ayrıca endüstride biyokatalitik yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir üretimin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Advantam üretim süreci ise aspartamın vanilin türevleriyle modifikasyonuna dayanmaktadır. Aspartam molekülünün aspartil kısmına vanilil grupları eklenerek advantam sentezlenir. Bu işlem, tatlılık gücünün sakkarozaya kıyasla artışından sorumlu olan önemli bir yapısal dönüşümdür. Üretim aşamaları

arasında kontrollü kimyasal sentez, biyokatalizörlerin kullanımı, saflaştırma ve kalite kontrol yer almaktadır. Advantam üretimi sırasında kullanılan ileri saflaştırma yöntemleri sayesinde ürün, gıda katkı maddesi standartlarına uygun saflığa ulaşır. Ayrıca advantamın endüstriyel üretiminde kullanılan düşük dozajlar, üretim maliyetlerini minimize etmekte ve ticari açıdan cazip bir tatlandırıcı haline gelmesini sağlamaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, bu üç tatlandırıcının üretim süreçlerinde sürdürülebilirlik kavramının giderek daha fazla önem kazandığını ortaya koymaktadır. Kimyasal yöntemlerin çevresel etkileri azaltılmaya çalışılırken, biyoteknolojik ve enzimatik üretim yolları ön plana çıkarılmaktadır. Ayrıca biyoreaktör teknolojileri, mikrobiyal fermantasyon sistemleri ve yeşil kimya prensiplerinin entegrasyonu ile hem verimlilik artırılmakta hem de yan ürünlerin minimuma indirilmesi sağlanmaktadır. Bu gelişmeler, yalnızca ekonomik fayda sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda çevre dostu üretim anlayışıyla gıda endüstrisinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunmaktadır.

3.4. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Aspartam, kimyasal yapısı itibarıyla L-aspartik asit ile L-fenilalanin metil esterinin dipeptid türeviden oluşan beyaz kristal formda bir bileşiktir. Suda çözünürlüğü yaklaşık 10 g/100 ml düzeyinde olup, nötr pH koşullarında stabil olmasına rağmen düşük pH ve yüksek sıcaklıklarda hızla parçalanabilmektedir. Bu nedenle asitli içeceklerde ve fırıncılık ürünlerinde tek başına kullanımı sınırlı kalmaktadır. Ayrıca ışığa karşı da duyarlılık göstermekte ve uzun süreli depolamalarda tatlılık yoğunluğu azalabilmektedir. Raf ömrü açısından değerlendirildiğinde, uygun koşullarda muhafaza edildiğinde stabilitesini korusa da endüstride genellikle daha dayanıklı tatlandırıcılarla birlikte kullanılmaktadır. Organoleptik olarak aspartam, sakkaroz benzeri tat profili nedeniyle geniş kabul görmektedir. Tatlılık algısı hızlı başlamasına rağmen, uzun süre kalıcılık göstermemektedir. Bu durum, tüketici algısında “doğala yakın tatlılık” olarak değerlendirilmektedir.

Neotamın, aspartama 3,3-dimetilbutil grubunun eklenmesiyle geliştirilmesinin sonucu olarak çözünürlüğünde ve ısıl stabilitesinde artış meydana gelmiştir. Aspartamdan farklı olarak neotam, düşük pH ortamlarında ve yüksek sıcaklıklarda bozulmaya karşı dirençlidir. Bu sebeple gazlı içeceklerde, pastörize ürünlerde ve fırıncılık sektöründe rahatlıkla kullanılabilir. Tatlılık gücünün sakkarozla kıyasla yüksek olması, gıda sektörüne hem ekonomik

hem de teknolojik avantajlar sunmaktadır. Organoleptik açıdan neotam, aspartama kıyasla daha uzun süren tatlılık algısı oluşturmakta ve ağızda acı ya da metalik bir tat bırakmamaktadır. Ayrıca şekerle veya diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanıldığında belirgin sinerjik etki göstererek tat profilini zenginleştirmektedir.

Aspartam ve vanilin türevlerinin kombinasyonu ile geliştirilen advantam, beyaz kristal formda bir tatlandırıcıdır. Sakkarozdan yaklaşık 20.000 kat daha tatlı olmasıyla, günümüzde bilinen en yüksek tatlılık derecesine sahip tatlandırıcılardan biridir. Çözünürlüğü ve stabilitesi yüksek olup, asidik içeceklerden yüksek sıcaklıkta pişirilen ürünlere kadar geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Özellikle düşük dozajlarda etkili olması hem maliyet avantajı sağlamakta hem de günlük diyeteye olan enerji katkısını ihmal edilebilir düzeyde tutmaktadır. Organoleptik olarak advantam, sakkaroz benzeri bir tat profiline sahiptir ve tatlılık algısı uzun süre kalıcıdır. Ayrıca diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanıldığında sinerjik etki göstererek hem tatlılık yoğunluğunda artış meydana gelmekte hem de tüketici açısından daha dengeli bir lezzet profili oluşmaktadır.

Bu üç tatlandırıcının ortak fizikokimyasal özellikleri incelendiğinde, beyaz kristal formda olmaları, yüksek tatlılık derecelerine sahip olmaları ve kalori değerlerinin ihmal edilebilir düzeyde bulunması dikkat çekmektedir. Ancak aralarında bazı belirgin farklılıklar vardır: Aspartam düşük pH ve sıcaklıklarda stabil değildir. Bu nedenle gazlı içeceklerde tek başına kullanılmazken, neotam ve advantam bu koşullarda kararlı kalmaktadır. Organoleptik açıdan da farklılıklar söz konusudur: Aspartam, doğal şekere en yakın tat profiline sahipken, neotam daha uzun süreli tatlılık ve sinerjik kullanım avantajı sunmaktadır. Advantam ise ultra yoğun tatlılığı sayesinde çok düşük miktarlarda dahi etkili olabilmektedir. Bu özellikleri, her bir tatlandırıcının farklı endüstriyel ürünlerde kullanımını öne çıkarmaktadır.

3.5. Aspartam, Neotam ve Advantam'ın Kullanım Alanları

Aspartam, 1980'lerden itibaren gıda ve içecek sektöründe en yaygın kullanılan tatlandırıcılardan biri olmuştur. Özellikle düşük kalorili ürünlerde şekerin yerine tercih edilmektedir. Gazlı içecekler, meyve suları, tatlılar, sakızlar ve süt ürünlerinde kullanılmaktadır. Kalorisi düşük olması ve sakkaroz benzeri tat profili sayesinde "diyet" veya "light" ürünlerde standart hale gelmiştir. Bununla birlikte ısıya ve asidik ortama karşı hassasiyetinden dolayı pastörize içeceklerde ve fırıncılık ürünlerinde tek başına kullanılmamaktadır. Genellikle aspartam, asesülfam-K veya sukraloz gibi daha dayanıklı tatlandırıcılarla

kombine edilmektedir. Böylece hem stabilite sağlanmakta hem de daha dengeli bir tat profili elde edilmektedir. Ayrıca aspartam, bazı farmasötik ürünlerde (ör. şurup, çiğneme tabletleri) de tat verici olarak değerlendirilmektedir.

Neotam, aspartamın yapısal avantajlarını geliştirerek endüstriyel kullanımını artırmak amacıyla üretilmiştir. Yüksek tatlılık gücü, düşük maliyetle daha yoğun tatlılık elde edilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle fırıncılık sektöründe ve asidik içeceklerde aspartama kıyasla daha avantajlıdır. Çünkü ısıya ve düşük pH değerlerine karşı stabil kalabilmektedir. Bu özellik neotamı, uzun raf ömrü gerektiren ürünlerde kullanım için uygun hale getirmektedir. Neotam, ayrıca sakız, şekerleme, yoğurt, puding ve dondurma gibi ürünlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tatlılık profilinin uzun sürmesi nedeniyle tüketici üzerinde daha kalıcı bir tat algısı yaratmaktadır. Fenilketonüri hastaları tarafından da tüketilebilmesi neotamı, toplumun geniş kesimlerine hitap edebilen bir tatlandırıcı haline getirmektedir. Bunun yanında, düşük dozajlarda dahi yüksek etki göstermesi nedeniyle gıda sanayiinde üretim maliyetlerini azaltan bir çözüm olarak görülmektedir.

Advantam, günümüzde kullanılan en güçlü tatlandırıcılardan biri olmasıyla dikkat çekmektedir. Çok düşük miktarlarda dahi yüksek tatlılık sağlaması, özellikle yüksek hacimli üretim yapan firmalar için maliyet avantajı sunmaktadır. EFSA ve FDA onayları sonrasında, avantajlı bir alternatif olarak pazara girmiştir. Endüstride şekerlemelerde, gazlı içeceklerde, fırıncılık ürünlerinde, sütlü tatlılarda, diyet ürünlerde ve hatta diş macunu gibi kişisel bakım ürünlerinde kullanımına rastlanmaktadır. Organoleptik olarak uzun süre kalıcı tatlılık sunması, advantamı özellikle şeker yerine kullanılabilir güçlü bir seçenek haline getirmektedir. Ayrıca düşük enerji değeri, obezite ve diyabet riski taşıyan tüketiciler için sağlıklı bir alternatif olarak değerlendirilmesine yol açmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu üç tatlandırıcı farklı alanlarda kendine özgü avantajlar sunmaktadır. Aspartam, şeker benzeri tadı sayesinde diyet ürünlerde en çok tercih edilen tatlandırıcı olurken, neotam ve advantam daha yüksek stabilite ve tatlılık dereceleriyle endüstride giderek daha fazla yer edinmektedir. Bu özellikleri, modern gıda endüstrisinin tüketici taleplerine (düşük kalorili, uzun raf ömrü, doğal şekere yakın tat profili) yanıt vermelerine olanak sağlamaktadır. Ayrıca ilaç ve diş sağlığı ürünlerinde de kullanımları gün geçtikçe artmakta ve bunun sonucunda yalnızca gıda sektörüne değil geniş bir tüketim alanına katkı sunmaktadırlar.

3.6. Sonuç

Aspartam, neotam ve advantam günümüz gıda endüstrisinin en önemli yoğun tatlandırıcıları arasında yer almaktadır. Aspartam, şeker benzeri tat profili ve düşük kalori değeri ile özellikle diyet ürünlerde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Ancak ısıya ve asidik ortamlara karşı düşük stabilitesi, kullanımını sınırlayan temel faktörlerdendir. Bu eksiklik, neotam ve advantam gibi yeni nesil tatlandırıcıların geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

Neotam, aspartamın yapısal modifikasyonu ile elde edilmiş olup yüksek tatlılık derecesi, fenilketonüri hastaları için güvenli oluşu ve ısıl dayanıklılığı sayesinde daha geniş bir endüstriyel kullanım alanı sunmaktadır. Advantam ise ultra yoğun tatlılık gücü, günlük diyete olan ihmal edilebilir düzeyde enerji katkısı, yüksek stabilitesi ve sinerjik kullanım avantajıyla endüstride giderek daha fazla benimsenmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu üç tatlandırıcı da tüketici taleplerine (düşük kalori, şeker benzeri tat, uzun raf ömrü) beklenen yanıtları vermektedir. Bununla birlikte, her bir tatlandırıcının kendine özgü avantaj ve sınırlılıkları bulunduğundan, gıda endüstrisi genellikle bu bileşenleri tek başına değil, kombinasyonlar halinde kullanmaktadır. Böylece hem ürünün duyuşal özellikleri zenginleştirilmekte hem de tatlandırıcıların birbirlerini tamamlayan özelliklerinden faydalanılmaktadır.

4. LAKTİTOL

4.1. Laktitol'ün Tanımı

Laktitol, disakkarit yapısında bir şeker alkolü olup, kimyasal olarak 4-O- β -D-galaktopiranozil-D-sorbitol şeklinde tanımlanmaktadır. Laktozun katalitik hidrojenasyonu sonucunda elde edilen bu bileşik, şeker alkollerini (polioller) grubuna dahil edilmektedir. İlk olarak 20. yüzyılın ortalarında düşük kalorili tatlandırıcı arayışları kapsamında geliştirilmiş ve kısa sürede gıda endüstrisinde yerini almıştır. Laktitol, sakkarozdan yaklaşık %30–40 daha az tatlı olmakla birlikte, şeker benzeri tat profili sayesinde tüketici tarafından kabul edilebilir düzeyde algılanmaktadır. Bu özelliği, diğer yoğun tatlandırıcılarla birlikte kullanımını da yaygınlaştırmaktadır.

Enerji değeri açısından değerlendirildiğinde, laktitol yaklaşık 2 kcal/g enerji sağlamaktadır. Bu değer, sakkarozun yarısı kadar olup, düşük kalorili ve diyabetik ürünlerde kullanımını mümkün kılmaktadır. Ayrıca laktitol, metabolik

açından düşük glisemik indeks (GI) değerine sahip olduğundan, kan şekeri seviyesini hızlı yükseltmemekte ve insülin yanıtını sınırlı düzeyde uyarmaktadır. Bu nedenle diyabetik bireyler için uygun bir tatlandırıcı olarak görülmektedir.

Laktitol'un en dikkat çekici özelliklerinden biri dental sağlık üzerindeki olumlu etkisidir. Fermantasyon yoluyla ağız florasında asit üretimine yol açmadığından diş çürüklerine neden olmamaktadır. Bu nedenle diş hekimliği ve halk sağlığı alanında güvenli tatlandırıcılar arasında sınıflandırılmaktadır. Aynı zamanda prebiyotik etkisi de rapor edilmiştir. Kolonda fermente edilerek kısa zincirli yağ asitlerinin (asetat, propiyonat, bütirat) üretimine katkı sağlamaktadır. Böylece bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Bu özellik, laktitol'un yalnızca tatlandırıcı değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda bileşeni olarak da değerlendirilmesine yol açmaktadır.

Fiziksel özellikleri açısından laktitol beyaz, kristal yapıda, kokusuz bir maddedir. Higroskopik özelliği bulunmadığından, nemli ortamlarda bile topaklanmaya karşı dirençlidir. Bu özellik, onu özellikle toz formda tatlandırıcı karışımlarında ve çikolata, bisküvi, şekerleme gibi gıdalarda teknolojik açıdan uygun hale getirmektedir. Ayrıca düşük çözünürlüğü ve ağızda serinletici etki bırakması, diğer şeker alkolleri (ör. ksilitol, sorbitol) ile benzerlik göstermektedir.

Endüstriyel açıdan laktitol, yalnızca tatlandırıcı olarak değil; aynı zamanda hacim artırıcı (bulking agent), nem tutucu (humektan) ve doku düzenleyici olarak da işlev görmektedir. Bu özellikleri sayesinde şeker yerine kullanılmasının yanı sıra ilave edildiği gıdanın dokusal özelliklerini, raf ömrünü ve duyu kalitesini de iyileştirmektedir. Çikolata ve bisküvi gibi ürünlerde kakao aromasının daha dengeli algılanmasını sağlaması ve dondurma üretiminde düşük donma noktası nedeniyle yapının daha yumuşak olmasına katkıda bulunması, teknolojik avantajları arasında yer almaktadır.

4.2. Laktitol'un Tarihsel Gelişimi

Laktitol, ilk kez 20. yüzyılın ortalarında şeker alkolleri üzerine yapılan çalışmalar sırasında keşfedilmiştir. Laktozun katalitik hidrojenasyonu ile elde edilen bu bileşik, başlangıçta kimyasal sentez çalışmaları çerçevesinde laboratuvar ortamında tanımlanmış ve kısa sürede düşük kalorili tatlandırıcı adayları arasında yerini almıştır. 1960'lı yıllarda gıda endüstrisinin şeker yerine kullanılabilecek alternatifler arayışında laktitol, tatlılık gücü ve düşük enerji değeriyle ön plana çıkmıştır. Özellikle diyabetik bireyler için geliştirilmiş gıdalarda, sakkaroz yerine güvenle kullanılabilecek bir alternatif olarak kabul edilmiştir.

1970’li ve 1980’li yıllarda laktitol üzerine yapılan toksikolojik ve metabolik araştırmalar, bileşiğin insan sağlığı açısından güvenli olduğunu ortaya koymuştur. Bu dönemde Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) ve ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) gibi kurumların değerlendirmeleri sonucunda laktitol, “düşük kalorili tatlandırıcı” ve “diyetetik ürün bileşeni” olarak onay almıştır. Ayrıca bu yıllarda laktitol’ün non-karyojenik (diş çürüklerine neden olmayan) yapısı bilimsel çalışmalarla doğrulanmış; diş sağlığına olumlu etkileri sayesinde “diş dostu tatlandırıcılar” kategorisinde sınıflandırılmıştır.

1990’lı yıllarda prebiyotik araştırmaların hız kazanmasıyla birlikte laktitol, yalnızca tatlandırıcı değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bağırsak florasını desteklediği, kısa zincirli yağ asitleri üretimini artırdığı ve kolon sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu yönünde bilimsel bulgular yayımlanmıştır. Bu gelişmeler, laktitol’ün “prebiyotik şeker alkolleri” arasında sınıflandırılmasına yol ağmıştır.

2000’li yıllardan itibaren laktitol’ün endüstriyel kullanımı daha da genişlemiş, yalnızca diyabetik ürünlerde değil, aynı zamanda şekerleme, çikolata, bisküvi, dondurma, süt ürünleri ve düşük kalorili içeceklerde de standart bir bileşen haline gelmiştir. Ayrıca farmasötik endüstride de şurup ve tablet formülasyonlarında tatlandırıcı ve hacim artırıcı olarak kullanım alanı bulmuştur. Bu dönemde yapılan klinik araştırmalar, laktitol’ün yüksek miktarlarda tüketilmesi durumunda laksatif etki gösterebileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle gıda etiketlerinde tüketim sınırlarının belirtilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Günümüzde laktitol, dünya genelinde onlarca ülkede onaylı ve yaygın kullanılan, şeker alkolü sınıfında yer alan bir tatlandırıcıdır. Modern gıda teknolojisinde yalnızca düşük kalorili bir alternatif olarak değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda katkısı olarak da değerlendirilmektedir. Özellikle sağlıklı beslenme trendlerinin yükselmesi ve prebiyotik etkilere olan ilginin artması, laktitol’ün kullanım alanlarını çeşitlendirmiştir. Böylece laktitol, tarihsel gelişiminde basit bir “tatlandırıcı” olmaktan çıkarak, çok yönlü bir “fonksiyonel bileşen” haline dönüşmüştür.

4.3. Laktitol’ün Üretimi

Laktitol, endüstriyel ölçekte laktozun katalitik hidrojenasyonu ile üretilmektedir. Bu süreçte laktoz, genellikle nikel, rutenyum veya platin gibi metal katalizörler eşliğinde yüksek basınç ve sıcaklık altında hidrojen gazı ile indirgenerek laktitol elde edilmektedir. Hidrojenasyon reaksiyonunda laktoz molekülündeki glikoz birimi sorbitole, galaktoz birimi ise galaktoz alkolüne dönüşmekte ve sonuçta galaktosil-sorbitol (laktitol) oluşmaktadır.

Üretim süreci birkaç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada laktozun saflaştırılması yapılır. Çünkü safsızlıklar katalitik reaksiyonun verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Daha sonra hidrojenasyon reaksiyonu genellikle 120–150 °C’de ve 40–60 bar basınç altında gerçekleştirilir. Katalizör olarak nikel, endüstride en yaygın kullanılan seçenektir ve yüksek verim ile düşük maliyet avantajı sağlamaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda rutenyum ve platin gibi daha seçici katalizörlerin kullanımı da araştırmalarda öne çıkmaktadır. Reaksiyon sonrası elde edilen karışım yalnızca laktitol değil, aynı zamanda düşük miktarlarda sorbitol ve diğer şeker alkollerini de içerebilmektedir. Bu nedenle saflaştırma aşaması kritik öneme sahiptir. Endüstriyel ölçekte kristalizasyon, membran filtrasyonu, iyon değişim kromatografisi gibi yöntemlerle safsızlıklar uzaklaştırılmakta ve yüksek saflıkta laktitol elde edilmektedir. Elde edilen ürün toz, granül veya şurup formunda pazarlanabilmektedir.

Üretim teknolojisi açısından laktitol’ün avantajlarından biri, laktozun süt endüstrisinde bol miktarda yan ürün olarak bulunmasıdır. Özellikle peynir altı suyu (whey) işlenmesi sırasında açığa çıkan laktoz, laktitol üretimi için ekonomik bir hammadde kaynağıdır. Bu sayede süt endüstrisinin yan ürünleri değerlendirilebilmekte ve sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturulabilmektedir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, laktitol üretiminde biyoteknolojik yöntemlerin de uygulanabileceğini göstermektedir. Mikrobiyal enzimler aracılığıyla gerçekleştirilen biyokatalitik hidrojenasyon süreçleri, daha düşük enerji gereksinimi ve çevre dostu özellikleriyle öne çıkmaktadır. Ayrıca bu yöntemler, istenmeyen yan ürün oluşumunu azaltmakta ve daha yüksek saflıkta laktitol elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

4.4. Laktitol’ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Laktitol (E966) oda sıcaklığında beyaz, kristalimsi, kokusuz, toz formunda bulunmakta ve higroskopik olmaması nedeniyle depolama sırasında nem çekme eğilimi göstermemektedir. Enerji değeri yaklaşık 2 kcal/g olup sakkarozdan daha düşüktür. Ayrıca düşük glisemik indeks (GI = 5) değeri sayesinde kan şekeri düzeyini hızlı yükseltmemektedir. Bu özelliği sayesinde diyabetik ürünlerde kullanımı uygun bir tatlandırıcı olarak kabul edilmektedir.

Tatlılık gücü sakkarozun yaklaşık %30–40’ı düzeyindedir. Bu nedenle tek başına kullanım yerine genellikle asesülfam-K, aspartam veya sukraloz gibi daha yoğun tatlandırıcılarla kombine edilmektedir. Böylece hem ürünlerde arzu edilen tatlılık düzeyi elde edilmekte hem de daha dengeli bir tat profili sağlanmaktadır. Fiziksel özellikleri bakımından laktitol, nem ve ısıya karşı stabil olup, raf ömrü

uzun ürünlerde kullanılmaya elverişlidir. Ayrıca düşük donma noktası etkisi nedeniyle dondurma ve dondurulmuş tatlılarda dokusal yumuşaklık sağlamaktadır.

Organoleptik özellikleri açısından laktitol, sakkaroz benzer bir tat profiline sahiptir. Tatlılık algısı şeker kadar yoğun değildir. Ancak ağızda serinlik hissi bırakmakta ve bu özelliği sayesinde özellikle şekerleme, çikolata, sakız ve pastacılık ürünlerinde kullanımı tercih edilmektedir. Ayrıca prebiyotik özellikler göstermekte, bağırsakta fermente edilerek kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumuna katkı sağlamakta ve böylece bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte aşırı miktarda tüketimi laksatif etkilere yol açabileceğinden günlük alım miktarı sınırlandırılmaktadır.

4.5. Laktitol'ün Kullanım Alanları

Laktitol, gıda endüstrisinde yalnızca tatlandırıcı olarak değil, aynı zamanda hacim artırıcı, kıvam verici ve nem tutucu özellikleri nedeniyle de çok yönlü bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Özellikle şekerlemeler, çikolata, bisküvi ve dondurma gibi ürünlerde kullanımı tercih edilmektedir. Bu ürünlere hem tatlılık sağlamakta hem de ürünlerin dokusal özelliklerini geliştirmektedir.

En yaygın kullanım alanlarından biri diyabetik ve düşük kalorili gıdalardır. Laktitol, düşük glisemik indeksi ($GI \approx 5$) sayesinde kan şekeri seviyesinde hızlı artışa neden olmamaktadır. Bu özelliğiyle diyabet hastaları için güvenle tüketilebilecek alternatif bir tatlandırıcı olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca sakkarozun yaklaşık yarısı kadar kalori sağlaması (≈ 2 kcal/g), enerji kısıtlı diyetlerde de tercih edilmesine katkı sunmaktadır.

Bir diğer önemli kullanım alanı dental sağlık ürünleridir. Laktitol, ağız florasında fermentasyona uğramadığı için asit oluşumuna neden olmamakta ve diş çürüklerine yol açmamaktadır. Bu özelliği sayesinde özellikle sakız, şekerleme ve diş dostu ürünlerde kullanımı giderek yaygınlaştırmaktadır. Fonksiyonel gıdalar açısından değerlendirildiğinde, laktitol prebiyotik etkiye sahip bir şeker alkolüdür. Kolon florasında fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri üretimine katkı sağlamakta, bu da bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Bu özellik, probiyotiklerle birlikte kullanıldığında sinerjik etki göstermekte ve bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesine yardımcı olmaktadır.

Bunun yanında laktitol, ilaç endüstrisinde de geniş kullanım alanına sahiptir. Şuruplar, çiğneme tabletleri ve kapsüllerde, tatlandırıcı ve hacim artırıcı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca laksatif özelliklerinden dolayı kronik

kabızlık tedavisinde, farmasötik preparatların formülasyonlarında aktif bileşen olarak da kullanılabilir. Son yıllarda laktitol, dondurma ve donmuş tatlılar başta olmak üzere çeşitli gıdalarda, düşük donma noktasına sahip olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu sayede ürünlerin daha yumuşak ve kremi bir dokuda olmasını sağlanmaktadır. Ayrıca higroskopik olmaması, depolama koşullarında nem çekmesini engelleyerek raf ömrünü uzatmaktadır. Genel olarak laktitol'un kullanım alanları yalnızca düşük kalorili ve diyabetik ürünlerle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda fonksiyonel gıdalar, farmasötik preparatlar, dental sağlık ürünleri ve dondurulmuş gıdalar gibi geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu çok yönlü kullanım, laktitol'ü gıda teknolojisi açısından stratejik bir tatlandırıcı haline getirmektedir.

4.6. Sonuç

Laktitol, şeker alkolleri arasında hem besinsel hem de teknolojik özellikleriyle dikkat çeken bir tatlandırıcıdır. Sakkarozun yaklaşık üçte biri kadar tatlılık gücüne sahip olmakla birlikte, düşük enerji değeri ve düşük glisemik indeks profili nedeniyle özellikle diyabetik ve enerji kısıtlı beslenme programlarında güvenle kullanılabilir. Bunun yanında diş sağlığına zarar vermeyen yapısı ve prebiyotik özellikleri, laktitol'ü yalnızca bir tatlandırıcı değil; aynı zamanda fonksiyonel bir gıda bileşeni konumuna taşımaktadır. Fizikokimyasal açıdan stabil olması, higroskopik olmaması ve serinlik hissi bırakması gibi özellikleri laktitol'un şekerleme, çikolata, dondurma ve fırıncılık ürünlerinde kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca farmasötik endüstride tatlandırıcı ve hacim artırıcı olarak, tıbbi ürünlerde ise laksatif özellikleri nedeniyle değerlendirilmektedir. Bu çok yönlü kullanım alanları, laktitol'un hem gıda sanayisi hem de sağlık sektöründe stratejik bir tatlandırıcı olarak önemini artırmaktadır. Genel olarak laktitol, güvenilirliği kanıtlanmış, tüketici beklentilerini karşılayan ve fonksiyonel bir katkı olmasıyla öne çıkan bir bileşen olup, günümüzde modern gıda teknolojisinin vazgeçilmez ingredientlerinden biri haline gelmiştir.

5. ERİTRİTOL

5.1. Eritritol'ün Tanımı

Eritritol (E968), dört karbonlu bir şeker alkolüdür ve kimyasal formülü 1,2,3,4-bütantetrol'dür. Bu bileşik, monosakkaritlerin indirgenmesi sonucu oluşan doğal polioller sınıfında yer almakta ve hem bitkisel hem de mikrobiyal

kaynaklarda doğal olarak bulunabilmektedir. Eritritol'ün doğal olarak bulunduğu başlıca gıdalar arasında üzüm, armut, kavun, mantar, soya sosu, şarap ve fermente içecekler yer almaktadır. Kimyasal olarak simetrik dört hidroksil grubuna sahip küçük bir molekül olduğundan eritritol, suda yüksek çözünürlük göstermektedir. Kristal formdadır ve kokusuz bir yapı sergilemektedir.

Eritritol'ün gıda endüstrisindeki önemi, enerji değeri sıfıra yakın olan bir tatlılık sağlamasından kaynaklanmaktadır. Tatlılık derecesi sakkarozun yaklaşık %60 ile %80'i kadardır. Buna karşılık, kalori değeri 0-0,2 kcal/g aralığındadır. Bu durum eritritol'ü hem diyetetik hem de düşük kalorili gıdalar için uygun bir tatlandırıcı haline getirmektedir. Diğer şeker alkolleri olan sorbitol, maltitol ve ksilitol enerji değeri açısından sırasıyla 2,6, 2,1 ve 2,4 kcal/g düzeyindedir. Eritritol bu yönüyle gıda formülasyonlarında enerji katkısı sağlamadan tatlılık hissi oluşturan en düşük kalorili polioller olarak değerlendirilmektedir.

Metabolik olarak eritritol, insan sindirim sisteminde ince bağırsakta hızla emilmektedir. Ancak burada metabolize edilememektedir. Emiliminin ardından dolaşım sistemine karışan eritritol, vücut dokularında enerji kaynağı olarak kullanılmamakta ve idrar yoluyla atılmaktadır. Yapılan farmakokinetik çalışmalar, alınan eritritol'ün yaklaşık %80'inin 24 saat içinde vücuttan atıldığını göstermektedir. Eritritol'ün bu özelliği, kan şekeri düzeyleri üzerinde hiçbir etkisinin olmamasına ve insülin yanıtını uyarmamasına yol açmaktadır. Bu nedenle eritritol diyabetik bireyler, obezite riski taşıyan kişiler ve metabolik sendroma sahip hastalar için güvenli bir tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır.

Eritritol'ün yapısal özellikleri, gıda endüstrisinde teknolojik avantajlar sağlamaktadır. Higroskopik özellik göstermemesi, özellikle toz formülasyonlarda topaklanma ve nem çekme sorunlarını ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca çözünme sırasında endotermik bir reaksiyon oluşturduğundan, ağızda serinletici bir his meydana getirmektedir. Bu durum özellikle sakız, naneli şekerleme ve diş dostu ürünlerde tercih edilme nedenlerinden biridir. Eritritol kimyasal olarak indirgen özellik göstermemektedir. Bu nedenle Maillard reaksiyonuna katılmamaktadır. Bu sayede fırıncılık ürünlerinde renk değişimi ve aroma bozulması riskini azaltarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır.

Eritritol'ün tat profili sakkarozla oldukça benzerdir. Ağızda metalik veya acı bir tat bırakmamaktadır. Tatlılık algısı hızlı başlamaktadır. Fakat uzun süreli kalıcılığı bulunmamaktadır. Bu nedenle endüstride genellikle stevia veya diğer poliollerle kombinasyon halinde kullanılmaktadır. Bu kombinasyonlar, tatlılık algısında sinerjik bir etki oluşturmakta ve sakkarozla daha yakın bir tat profili elde edilmesini sağlamaktadır. Biyokimyasal açıdan eritritol, pentoz fosfat

metabolik yolunda endojen olarak oluşabilmektedir. Eritroz-4-fosfatın indirgenmesi sonucu doğal bir ara metabolit olarak vücutta az miktarda sentezlenmektedir. Bu durum eritritol'ün biyoyumlu bir bileşik olduğunu ve toksik etkiler göstermediğini kanıtlamaktadır. Bu nedenle hem gıdalarda hem farmasötik ürünlerde güvenli bir tatlandırıcı olarak değerlendirilmektedir.

5.2. Eritritol'ün Tarihsel Gelişimi

Eritritol ilk kez 1848 yılında İngiliz kimyager John Stenhouse tarafından buğday nişastasının fermantasyonu sırasında elde edilen bir yan ürün olarak tanımlanmıştır. O dönemde organik bileşiklerin sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar yeni gelişmekte olduğundan, eritritol ilginç bir buluş olarak değerlendirilmiştir. Ancak tatlandırıcı özelliği fark edilmemiştir. 19. yüzyılın sonlarına kadar eritritol yalnızca laboratuvar ölçeğinde sentezlenebilmiş ve herhangi bir ticari uygulama alanı bulamamıştır.

20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, şeker alkollerinin gıda endüstrisinde kullanılabilirliği üzerine yürütülen araştırmalar, eritritol'ün yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır. 1950'li yıllarda polioller grubundaki bileşiklerin fiziksel ve metabolik özellikleri incelenmiştir. Bunun sonucunda eritritol'ün diğer şeker alkollerine kıyasla daha düşük enerji değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak o dönemde endüstriyel üretim yöntemleri ekonomik olmadığı için eritritol yaygın şekilde kullanılamamıştır.

1980'li yılların sonlarına doğru Japon araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, eritritol'ün düşük kalorili bir tatlandırıcı olarak potansiyelini ortaya koymuştur. Japonya'da şeker yerine kullanılabilir doğal ve düşük enerjili tatlandırıcı arayışlarının artması, eritritol'ün üretim teknolojisinin geliştirilmesini teşvik etmiştir. 1990 yılında Japonya'da endüstriyel ölçekte üretimi gerçekleştirilmiş ve kısa sürede düşük kalorili gıda formülasyonlarında kullanımı başlamıştır.

Japon Sağlık ve Refah Bakanlığı 1992 yılında eritritol'ün gıda katkı maddesi olarak kullanımına resmî onay vermiştir. Bu onayın ardından Japonya'da diyet içeceklerde, şekerlemelerde ve sakızlarda eritritol kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde diğer tatlandırıcılara kıyasla eritritol daha doğal kökenli ve daha iyi tolere edilebilen bir bileşik olarak ön plana çıkmıştır. Japonya'nın ardından 1997 yılında JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) eritritol'ün toksikolojik olarak güvenli olduğunu bildirmiş ve ona "ADI not specified" statüsünü vermiştir. Bu sınıflandırma, eritritol'ün insan

sağlığı açısından belirlenmiş bir günlük alım limiti gerektirmediğini ifade etmektedir.

Aynı yıl ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından “Generally Recognized as Safe (GRAS)” statüsünde kabul edilmiştir. GRAS onayı, eritritol’ün toksikolojik, biyokimyasal ve metabolik açıdan güvenli olduğunu gösteren kapsamlı çalışmalar sonucunda verilmiştir (FDA, 2019). ABD’de bu onayla birlikte diyet içecekler, dondurmalar, süt ürünleri ve şekerlemelerde eritritol şeker ikamesi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Avrupa Birliği’ndeki onay süreci ise daha uzun sürmüştür. 2006 yılında Avrupa Komisyonu tarafından eritritol, E968 koduyla gıda katkı maddesi olarak onaylanmıştır. Ardından Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) 2010 ve 2015 yıllarında yürüttüğü yeniden değerlendirmelerde eritritol’ün insan sağlığı açısından güvenli olduğunu doğrulamıştır. EFSA’nın raporları, eritritol’ün gastrointestinal sistem tarafından büyük ölçüde emildiğini ve metabolize edilmeden idrarla atıldığını, dolayısıyla diğer poliollerde görülen laksatif etkilerin eritritol’de gözlenmediğini belirtmektedir.

Eritritol’ün küresel ölçekte yaygınlaşması ise 2000’li yılların ortasında hız kazanmıştır. Özellikle Avrupa ve Amerika pazarlarında doğal kökenli düşük kalorili tatlandırıcılara olan ilginin artması, eritritol’ün stevia ve monk fruit gibi doğal tatlandırıcılarla birlikte kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu dönemde eritritol, “doğal kökenli sıfır kalorili tatlandırıcı” kategorisinde yer almaya başlamış ve çok sayıda gıda formülasyonuna dâhil edilmiştir.

Eritritol’ün tarihsel gelişimi, kimyasal bir buluşun yüzyıllar süren bilimsel ilerlemesi sonucunda endüstriyel bir tatlandırıcıya dönüşümünü temsil etmektedir. 1848’de laboratuvar ortamında tanımlanan bu bileşik, biyoteknolojik üretim süreçlerinin gelişmesi, toksikolojik güvenliğinin kanıtlanması ve uluslararası gıda düzenlemelerinin olgunlaşması sayesinde günümüzde dünya çapında kullanılan düşük kalorili tatlandırıcılardan biri haline gelmiştir.

5.3. Eritritol’ün Üretimi

Eritritol’ün üretimi tarihsel olarak kimyasal sentez yöntemlerine dayanmakla birlikte, günümüzde endüstriyel ölçekte üretimi tamamen biyoteknolojik süreçlerle gerçekleştirilmektedir. Eritritol’ün endüstriyel sentezinde en yaygın yöntem, karbon kaynağı olarak glukozun veya sakkarozun kullanıldığı mikrobiyal fermantasyon sürecidir. Bu yöntem, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kimyasal senteze göre çok daha avantajlıdır. Glukoz veya nişasta hidrolizatları, eritritol sentezleyen mikroorganizmalar için

substrat olarak kullanılmaktadır ve üretim süreci tipik olarak osmotolerant maya türleri aracılığıyla yürütülmektedir.

Eritritol üretiminde en yaygın kullanılan mikroorganizmalar arasında *Moniliella pollinis*, *Yarrowia lipolytica*, *Candida magnoliae*, *Trichosporonoides megachiliensis* ve *Torula sp.* gibi maya türleri yer almaktadır. Bu mikroorganizmalar, yüksek ozmotik basınç koşullarında eritritol sentezleyebilme yetenekleri nedeniyle tercih edilmektedir. Fermantasyon genellikle 30–33°C sıcaklık ve pH 5,0–6,0 aralığında gerçekleşmektedir. Ortalama üretim süresi 72 ile 96 saat arasında değişmektedir. Bu süreçte glukoz, pentoz fosfat yoluna yönlendirilmekte ve eritroz-4-fosfat'ın indirgenmesiyle eritritol oluşmaktadır.

Elde edilen ham ürünün saflaştırılması, üretim sürecinin kritik aşamalarından biridir. Fermantasyon sonunda biyokütle, santrifüjleme veya mikrofiltrasyonla ayrılmakta, ardından süpernatant iyon değişim reçineleri, aktif karbon adsorpsiyonu ve buharlaştırma işlemlerinden geçirilmektedir. Bu işlemler sonucunda yüksek saflıkta, beyaz kristal formda eritritol elde edilmektedir. Elde edilen kristallerin erime noktası 121°C olup higroskopik özellik göstermemektedir.

Endüstriyel ölçekli üretim için geliştirilen modern sistemlerde, eritritol verimini artırmak amacıyla besleme stratejili (fed-batch) veya sürekli fermantasyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde karbon kaynağı ve azot bileşenleri kontrollü biçimde sisteme verilmektedir. Böylece hücre stres düzeyi azaltılmakta ve metabolik akışın eritritol üretimi yönüne kaydırılması sağlanmaktadır. Literatürde *Candida magnoliae* kullanılarak yapılan fed-batch fermantasyonlarda verimin 160 g/L düzeyine kadar çıkarılabildiği bildirilmektedir.

Son yıllarda eritritol üretiminde genetik mühendisliği teknikleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda *Yarrowia lipolytica* ve *Trichosporonoides megachiliensis* türlerinde NADPH üretimini artıran genlerin aşırı ekspresyonu sağlanarak eritritol biyosentezinde yüksek verim elde edilmiştir. Aynı zamanda yan ürün oluşumunun azaltılması için metabolik akış yeniden yönlendirilmiştir. Bu gelişmeler eritritol'ün sürdürülebilir üretimini desteklemekte ve endüstriyel maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Kimyasal yöntemlerle eritritol üretimi de teorik olarak mümkündür. Örneğin, glukozun katalitik hidrojenasyonu ile polihidroksi alkollerin karışımı elde edilmekte ve bunlardan eritritol ayrıştırılabilmektedir. Ancak bu yöntem, düşük seçicilik ve yüksek enerji tüketimi nedeniyle ekonomik bulunmamaktadır. Bu nedenle modern üretim, tamamen biyoteknolojik temele dayandırılmaktadır.

Eritritol üretiminde çevresel faktörler de önemli bir değerlendirme konusudur. Biyoteknolojik yöntemlerle üretim, sera gazı salımını azaltmakta ve yenilenebilir kaynakların kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca üretim sonrası ortaya çıkan biyokütle, hayvansal yem olarak değerlendirilebilmektedir. Bu özellikler, eritritol'ün "yeşil teknoloji ürünü" olarak sınıflandırılmasını desteklemektedir. Eritritol'ün endüstriyel üretimi hem teknolojik verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından modern gıda endüstrisinin beklentilerini karşılamaktadır. Fermantasyon tabanlı bu sistem, düşük enerji tüketimi ve yüksek saflık oranı sayesinde eritritol'ü doğal tatlandırıcılar arasında stratejik bir bileşen haline getirmektedir.

5.4. Eritritol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Eritritol beyaz renkli, kristal yapılı, kokusuz ve tatlı bir bileşiktir. Molekül formülü $C_4H_{10}O_4$ olan eritritol, dört hidroksil grubuna sahip bir polioller yapısı sergilemektedir. Moleküler ağırlığı 122,12 g/mol olup, erime noktası yaklaşık $121^{\circ}C$ civarındadır. Eritritol higroskopik değildir. Bu nedenle nem çekmez ve toz formülasyonlarda fiziksel stabilitesini uzun süre korumaktadır. Bu özellik, gıda endüstrisinde depolama ve raf ömrü açısından avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda bu özelliği sayesinde eritritol, diğer şeker alkollerinden (örneğin sorbitol ve ksilitol) ayrılmaktadır. Çünkü bu bileşikler, yüksek oranda higroskopiktir.

Eritritol'ün suda çözünürlüğü $25^{\circ}C$ 'de 37 g/100 mL olup, sıcaklığın artışıyla birlikte çözünürlük oranı da artmaktadır. Bu yüksek çözünürlük değeri, eritritol'ün sıvı formülasyonlarda kolayca kullanılmasını sağlamaktadır. Çözünürken endotermik bir reaksiyon gerçekleştiği için ağızda belirgin bir serinletici etki oluşturmaktadır. Bu serinletici etki sayesinde özellikle sakız, naneli şekerleme ve ferahlatıcı içecek formülasyonlarında kullanımı tercih edilmektedir. Eritritol çözeltisinin pH değeri 5–7 aralığındadır ve bu değer gıda ürünlerinde duyuusal dengeyi korumaya yardımcı olmaktadır.

Organoleptik açıdan eritritol'ün tat profili sakkarozaya oldukça benzerdir. Tatlılık hissi hızlı başlamaktadır ve metalik ya da acı bir tat bırakmamaktadır. Tat yoğunluğu sakkarozun yaklaşık %70–80'i kadardır. Bu nedenle çoğu formülasyonda stevia veya diğer poliollerle birlikte kullanılmaktadır. Bu kombinasyonlar tat algısında sinerjik etki yaratarak sakkarozaya yakın bir duyuusal denge oluşturmakta ve tüketici kabulünü artırmaktadır. Ayrıca eritritol, hızlı çözünmesi nedeniyle çay, kahve ve gazlı içeceklerde homojen tat dağılımı sağlamaktadır.

Eritritol, kimyasal olarak indirgen özellik göstermediğinden Maillard reaksiyonuna katılmamaktadır. Bu durum eritritol içeren ürünlerde pişirme veya pastörizasyon sırasında renk değişimi ve aroma bozulmasını önlemektedir. Isıya dayanıklılığı oldukça yüksektir; 160°C'ye kadar yapısal bozulma göstermeden stabil kalabilmektedir. Bu nedenle eritritol, fırıncılık ürünleri ve sıcak içecekler ile termal işlem gerektiren üretimlerde güvenle kullanılabilir. Aynı zamanda pH 2–10 aralığında kimyasal olarak stabil olması, asidik ve alkali ürünlerde kullanım esnekliği sağlamaktadır.

Eritritol'ün fizikokimyasal stabilitesi aynı zamanda mikrobiyolojik güvenlik açısından da avantaj sağlamaktadır. Eritritol, mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla fermente edilemediği için gıdalarda bozulmaya neden olmamaktadır. Bu özellik, özellikle düşük su aktivitesine sahip gıdalarda mikrobiyal gelişimi sınırlayarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır. Eritritol'ün, su aktivitesi 0,9'un altında olan ürünlerde stabil kaldığı ve mikrobiyal gelişimi desteklemediği bildirilmiştir. Ayrıca diş sağlığı açısından da önemli fizikokimyasal avantajları bulunmaktadır. Eritritol ağız florasında bakteriyel fermantasyona uğramadığı için asit üretimini teşvik etmemekte ve diş minesinin demineralizasyonuna yol açmamaktadır. Yapılan klinik araştırmalar, eritritol'ün *Streptococcus mutans* gibi çürük oluşturan bakterilerin metabolizmasını baskıladığını ve diş çürüğü riskini azalttığını göstermektedir. Bu durum eritritolün sakız, diş macunu ve ağız bakım ürünlerinde kullanımını desteklemektedir.

Termal özellikler bakımından eritritol, ısıtıldığında karamelizasyona uğramamaktadır. Böylece şekerleme ve kaplama ürünlerinde eritritol'ün kullanımını renk stabilitesinin sağlanmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca eritritol ısıya dayanıklı olduğu için dondurma, sütlü tatlılar ve fırıncılık ürünlerinde yapısal bütünlüğünü korumaktadır. Higroskopik olmaması ve düşük viskoziteye sahip çözeltiler oluşturması sayesinde ise özellikle şeker kaplama ve toz karışımlarında homojen dağılım sağlamaktadır.

Eritritol'ün duyu tat profili, tüketici algısı açısından da araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar eritritol'ün tatlılık hızının sakkarozunkine benzer olduğunu ortaya koymuştur. Ancak tat kalıcılığının daha kısa sürdüğünü göstermiştir. Bu nedenle eritritol, özellikle hızlı tat salınımı istenen ürünlerde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, ağızdaki serinletici etkisi sebebiyle tüketiciler tarafından genellikle ferahlatıcı olarak algılanmaktadır. Bu durum eritritol'ün şeker ikameleri arasında kendine özgü bir yer kazanmasına yol açmıştır. Eritritol'ün fizikokimyasal ve duyu özellikleri değerlendirildiğinde, bu bileşiğin sadece

düşük kalorili bir tatlandırıcı değil; aynı zamanda stabilitesi yüksek, serinletici etkiye sahip ve duyuşal kalite açısından da çok yönlü bir katkı maddesi olduğu görölmektedir. Bu özellikleri sayesinde eritritol, fonksiyonel gıdalar, diyet ürünleri ve diş dostu ürünler başta olmak üzere özel ürün gruplarında tercih edilmektedir.

5.5. Eritritol'ün Kullanım Alanları

Eritritol, gıda ve sağlık endüstrilerinde geniş bir kullanım alanına sahip, düşük kalorili bir tatlandırıcıdır. En yaygın kullanım alanı, şekerin kısmen veya tamamen ikame edildiği gıda ürünleridir. Bu ürünler arasında diyet içecekler, tatlılar, şekerlemeler, sakızlar, fırıncılık ürünleri, sütlü tatlılar ve dondurmalar yer almaktadır. Eritritol, sakkaroz ile benzer tat profiline sahip olması nedeniyle formülasyonlarda duyuşal kaliteyi korurken enerji değerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca eritritol, gıda ürünlerinde hacim verici olarak da işlev görmektedir ve düşük kalorili ürünlerde şekerin oluşturduğu dokusal yapıyı desteklemektedir.

İçecek endüstrisinde eritritol, özellikle düşük kalorili veya “şekersiz” etiketli ürünlerde tercih edilmektedir. Karbonatlı içeceklerde, meyve sularında ve enerji içeceklerinde tek başına veya stevia, sukraloz gibi yüksek yoğunluklu tatlandırıcılarla birlikte kullanılmaktadır. Bu kombinasyonlar, tat yoğunluğunu artırmakta ve sakkarozla benzer bir lezzet profili elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca eritritol'ün çözünürlüğünün yüksek olması, içecek formülasyonlarında homojen dağılımını kolaylaştırmaktadır.

Eritritol'ün en dikkat çekici kullanım alanlarından biri, şekerleme endüstrisidir. Şekersiz sakız ve naneli şekerlerde, serinletici etkisi nedeniyle tercih edilmektedir. Eritritol çözünürken endotermik bir reaksiyon oluşturmakta ve bu da ağızda serin bir his bırakmaktadır. Tüketicide yarattığı ferahlık hissi ise ürünün duyuşal cazibesini artırmaktadır. Ayrıca eritritol'ün diş dostu olması, sakız ve ağız bakım ürünlerinde kullanımı için ek bir avantaj sağlamaktadır. Yapılan klinik çalışmalar, eritritol'ün *Streptococcus mutans* bakterisinin asit üretimini engellediğini ve diş çürüğü oluşumunu azalttığını göstermektedir.

Fırıncılık ürünlerinde eritritol, şekerin yapısal işlevini kısmen yerine getirebilmektedir. Ancak eritritol, Maillard reaksiyonuna katılmadığı için renk oluşumunu desteklememektedir. Bu nedenle genellikle maltitol veya izomalt gibi poliollerle birlikte kullanılmaktadır. Fırıncılık ürünlerinde tatlılık, nem ve hacim dengesi sağlamak amacıyla eritritol ile birlikte lif ve nişasta bazlı dolgu maddeleri de kullanılmaktadır. Eritritol'ün ısıya dayanıklı olması, pişirme sırasında yapısal

bozulmaya uğramadan ürün stabilitesini korumasını sağlamaktadır. Aynı zamanda eritritol'ün süt ürünlerinde kullanımı da mevcuttur. Dondurma ve yoğurt gibi ürünlerde tatlandırıcı ve kristalizasyon önleyici olarak işlev görmektedir. Süt ürünlerinde buz kristali oluşumunu azaltarak daha kremamsı bir doku sağlamaktadır. Ayrıca düşük kalorili sütlü tatlılarda tatlılık sağlamanın yanı sıra kan şekeri üzerinde etkili olmaması da önemli bir avantajdır.

Farmasötik endüstride eritritol, tablet formülasyonlarında taşıyıcı, dolgu ve tat düzenleyici ajan olarak kullanılmaktadır. Eritritol'ün yüksek çözünürlüğü, düşük higroskopikliği ve hoş tadı, özellikle çiğneme tabletlerinde ve ağızda dağılan şekerlerde kullanımını uygun hale getirmektedir. Ayrıca eritritol'ün nem dengesini koruma özelliği, tabletlerin stabilitesini artırmaktadır. Kozmetik endüstrisinde eritritol, nem tutucu ve yumuşatıcı ajan olarak kullanılmaktadır. Cilt nemini dengeleyici etkisi nedeniyle kremlerde ve losyonlarda kullanımı tercih edilmektedir. Eritritol'ün sağlık odaklı kullanım alanları da giderek genişlemektedir. Diyabetik bireyler için geliştirilmiş gıdalarda ve fonksiyonel ürünlerde eritritol, kan glukoz düzeyini etkilemeden tatlılık sağlamaktadır. Aynı zamanda enerji içecekleri ve sporcu gıdalarında, enerji yükü oluşturmadan ürüne tatlılık ve hacim kazandırmak için tercih edilmektedir. Klinik çalışmalar, eritritol'ün kan şekeri ve insülin düzeylerini etkilememesinin yanı sıra bağırsak mikrobiyotası üzerinde de olumsuz bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir. Son yıllarda eritritol, doğal kökenli tatlandırıcılarla kombine edilerek “temiz etiketli” ürünlerde kullanılmaktadır. Stevia veya monk fruit ile birlikte kullanımı, hem tat profili hem de doğal algı açısından tüketici beklentilerini karşılamaktadır. Bu kombinasyonlar özellikle içecek, unlu mamul ve sütlü tatlı sektörlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Eritritol'ün toksikolojik güvenliği, metabolik nötrlüğü ve duyuşsal avantajları, onu modern gıda formülasyonlarında temel bileşenlerden biri haline getirmiştir.

5.6. Sonuç

Eritritol, düşük kalorili tatlandırıcılar arasında güvenilirliği, fizyolojik uygunluğu ve duyuşsal özellikleri bakımından öne çıkan bir bileşiktir. Endüstriyel üretiminde biyoteknolojik yöntemlerin kullanılması, bu tatlandırıcının sürdürülebilir gıda teknolojilerinde önemli bir konuma sahip olmasını sağlamaktadır. Glukozun mikrobiyal fermantasyonu yoluyla elde edilen eritritol, çevresel açıdan düşük karbon ayak izine sahip olup enerji verimliliği yüksek bir üretim süreciyle elde edilmektedir. Kimyasal yapısı itibarıyla higroskopik olmaması, Maillard reaksiyonuna katılmaması, ısı ve pH stabilitesinin yüksek

olması, eritritol'ün fırıncılık ürünlerinde, süt ürünlerinde, içecek ve şekerleme sanayilerinde geniş kullanım imkânı sunmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca eritritol'ün tat profili sakkarozla oldukça benzemektedir. Ağızda metalik veya acı bir tat bırakmamakta ve bu yönüyle tüketici kabulü oldukça yüksektir.

Eritritol, metabolik olarak vücut tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmadığı için kan glukoz düzeyini etkilememekte ve insülin salgısını uyarmamaktadır. Bu nedenle diyabetik bireyler, obezite riski taşıyan kişiler ve metabolik sendrom hastaları için güvenli bir alternatif olarak önerilmektedir (EFSA, 2015). Ayrıca ağız florasında asit üretimini engellemesi ve diş çürüklerine yol açmaması, eritritol'ü diş dostu tatlandırıcılar sınıfına dahil etmektedir. Günümüzde eritritol, hem bireysel sağlık odaklı beslenme yaklaşımlarında hem de endüstriyel gıda üretiminde stratejik öneme sahip bir tatlandırıcıdır. Doğal kökeni, toksikolojik güvenliği, fizyolojik nötrlüğü ve çevresel sürdürülebilirliği, eritritol'ü modern gıda biliminin temel bileşenlerinden biri haline getirmektedir.

6. İZOMALT

6.1. İzomalt'ın Tanımı

İzomalt (E953), sakkarozdan elde edilen, disakkarit alkol yapısında bir polioldür ve gıda endüstrisinde düşük kalorili tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Kimyasal olarak $C_{12}H_{24}O_{11}$ formülüne sahip olan izomalt, sakkarozun enzimatik izomerizasyonu sonucu elde edilen izomaltulozun hidrojenasyonu ile üretilmektedir. Elde edilen ürün, iki stereoizomerin karışımından oluşmaktadır: glukoz-mannitol ve glukoz-sorbitol. Bu izomerik yapı, izomalt'ın tatlılık derecesini, çözünürlüğünü ve fizikokimyasal stabilitesini belirlemektedir. İzomalt, sakkarozun tatlılık düzeyinin yaklaşık %45 ila %65'ine sahiptir ve 2 kcal/g enerji sağlamaktadır. Düşük enerji değeri ve yüksek ısı stabilitesi nedeniyle diyet ürünlerinde ve şekerless gıdalarda tercih edilmektedir. İzomalt'ın higroskopik yapıda olmaması, özellikle şekerleme ve toz karışımlarda ürünün nem çekmesini önlemekte ve böylece raf ömrünü uzatmaktadır. Ayrıca homojen kristal yapısı sayesinde şeffaf, parlak ve kırılğan ürünler elde edilebilmektedir.

Tat profili bakımından izomalt, sakkarozla oldukça yakın bir tatlılık karakterine sahiptir. Tatlılık hissi yavaş gelişmekte ve uzun süre kalıcı olmaktadır. Metalik veya yapay bir tat oluşturmadığı için şeker yerine doğrudan kullanılabilir. Ayrıca diğer yüksek yoğunluklu tatlandırıcılarla birlikte

kullanıldığında ise sinerjik bir tat profili oluşturmaktadır. Formülasyonlarda stevia, asesülfam-K veya sukraloz gibi tatlandırıcılarla birlikte sıkça yer aldığı görülmektedir.

Beslenme açısından izomalt'ın en önemli özelliği, düşük glisemik indeksli olmasıdır. İnce bağırsakta enzimatik olarak kısmen sindirilmekte, büyük kısmı emilmeden kalın bağırsağa geçmekte ve burada bakteriyel fermantasyonla kısa zincirli yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Bu süreç, kan glukoz düzeyinde ani artışlara yol açmadığı için özellikle diyabetik bireyler açısından tüketiminin avantajlı olduğu belirtilmektedir (Livesey, 2001). Ayrıca sindirim sisteminde yavaş emildiği için tokluk hissini artırmakta ve enerji dengesinin sağlanmasına da katkıda bulunmaktadır.

İzomalt, diş dostu bir tatlandırıcı olarak değerlendirilmektedir. Ağız florasında bulunan *Streptococcus mutans* bakterisi tarafından fermente edilmediğinden dolayı asit üretimini teşvik etmemekte ve diş minesinin demineralizasyonuna yol açmamaktadır. Bu nedenle izomalt, diş çürüğünü önleyici etkisiyle sakız, diş macunu ve ağız bakım ürünlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. İzomalt, fiziksel ve fizyolojik özellikleri nedeniyle yalnızca tatlandırıcı olarak değil, aynı zamanda hacim verici, nem düzenleyici ve stabilite sağlayıcı bir bileşen olarak da ürün formülasyonlarında yer almaktadır. Bu çok yönlü özellikleri sayesinde, günümüzde modern gıda teknolojilerinde fonksiyonel karbonhidrat türevi olarak değerlendirilmektedir.

6.2. İzomalt'ın Tarihsel Gelişimi

İzomalt'ın kökeni, sakkaroz kimyası üzerine yapılan endüstriyel araştırmalara dayanmaktadır. 1950'li yıllarda şeker türevlerinin kimyasal olarak değiştirilmesiyle daha stabil ve düşük kalorili tatlandırıcılar üretme çabaları hız kazanmıştır. Bu süreçte, Alman kimyagerler tarafından sakkarozun enzimatik izomerizasyonu ile izomaltuloz (palatinose) sentezlenmiştir. Ardından bu bileşiğin hidrojenasyonu sonucu da izomalt elde edilmiştir. Bu buluş, polioll üretiminde kimyasal indirgeme süreçlerinin kontrollü biçimde kullanılabilceğini göstermiş ve modern şeker alkollerinin geliştirilmesinde de dönüm noktası olmuştur.

İzomalt ilk kez 1960'lı yıllarda Almanya'da Südzucker AG firması tarafından endüstriyel ölçekte üretilmiştir. Bu dönemde polioller arasında en stabil yapıya sahip olan izomalt, şekerleme endüstrisinin ihtiyaç duyduğu ısıya dayanıklı ve düşük higroskopik özellikte bir tatlandırıcı olarak dikkat çekmiştir. 1980'li yıllarda izomalt'ın üretim süreçleri optimize edilmiştir. Bu amaçla

özellikle katalizör kontrolü ve kristalizasyon koşulları geliştirilmiştir. Böylece yüksek saflıkta izomalt üretimi mümkün hale gelmiş ve ürün ticari pazara sunulmuştur.

1985 yılında izomalt, Avrupa’da gıda katkı maddesi olarak ticarileştirilmiş ve kısa sürede şekerless ürün pazarında yerini almıştır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından yapılan toksikolojik değerlendirmelerde, izomaltın güvenli olduğu sonucuna ulaşılmış ve 1990’lı yıllarda ise Dünya Sağlık Örgütü’nün (WHO) JECFA komitesi tarafından “ADI not specified” kategorisinde sınıflandırılmıştır. Bu değerlendirme, izomalt’ın belirli bir günlük alım sınırı olmaksızın güvenle tüketilebileceğini göstermektedir.

Amerika Birleşik Devletleri’nde ise izomalt, 1990 yılında Food and Drug Administration (FDA) tarafından “Generally Recognized as Safe (GRAS)” statüsünde onaylanmıştır. Bu onayla birlikte izomalt, diyabetik gıdalar, şekerless çikolatalar, sakızlar ve fonksiyonel tatlandırıcı karışımlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemden itibaren Amerika, Japonya, Güney Kore ve Avustralya dahil olmak üzere pek çok ülkede izomalt, kullanımına yasal olarak izin verilen tatlandırıcılar arasına girmiştir.

1990’lı yıllardan sonra izomalt’ın kullanım alanı sadece gıdalarla sınırlı kalmayarak farmasötik ve kozmetik endüstrilerine de yayılmıştır. İzomalt’ın düşük higroskopik yapısı, tablet formülasyonlarında taşıyıcı ve dolgu maddesi olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Aynı zamanda diş çürüklerini önleme potansiyeli, onu diş macunu ve ağız bakım ürünlerinde de önemli bir bileşen haline getirmiştir.

Günümüzde izomalt, yaklaşık 60 yılı aşkın süredir ticari olarak üretilmekte ve dünya çapında 70’den fazla ülkede gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Tarihsel gelişimi, sakkaroz temelli kimyasal araştırmalardan başlayıp modern biyoteknolojik ve farmasötik uygulamalara kadar uzanan bir süreç göstermektedir. İzomalt, günümüzde doğal tatlılık hissini koruyan, enerji içeriği düşük ve fizyolojik olarak güvenli bir tatlandırıcı olarak kabul edilmektedir.

6.3. İzomalt’ın Üretimi

İzomalt üretimi, temelde sakkarozun enzimatik ve kimyasal olarak iki aşamalı dönüşüm sürecine dayanmaktadır. İlk aşamada sakkaroz, *Protaminobacter rubrum* veya benzeri mikroorganizmalar tarafından üretilen invertaz benzeri enzimler aracılığıyla izomaltuloza dönüştürülmektedir. Bu reaksiyon sırasında sakkarozun glikoz ve fruktoz birimleri, yeniden düzenlenmekte ve glikoz birimi 1,6-glikozidik bağ üzerinden fruktoz yerine

mannoz yapısına bağlanmaktadır. Elde edilen izomaltuloz, sakkarozun yapısal izomeridir ve kimyasal olarak indirgen şeker özelliği taşımaktadır.

İkinci aşamada izomaltuloz, yüksek basınç ve sıcaklık altında nikel katalizörü varlığında hidrojenasyona tabi tutulmaktadır. Bu işlem sonucunda karbonil grupları, hidroksil gruplarına indirgenmekte ve iki ana bileşenden oluşan izomalt elde edilmektedir: glukoz-mannitol (1-O- α -D-glukopiranosil-D-mannitol) ve glukoz-sorbitol (1-O- α -D-glukopiranosil-D-sorbitol). Bu iki bileşenin oranı genellikle 1:1 civarındadır ve izomalt'ın tatlılık, çözünürlük ve higroskopik özelliklerini belirlemektedir.

Elde edilen ham izomalt, daha sonra saflaştırma aşamasına alınmaktadır. Bu aşamada hidrojenasyon sonrası karışımında kalan metal katalizörler, iyon değiştirici reçineler kullanılarak uzaklaştırılmakta ve ürün aktif karbon filtrelerinden geçirilerek renksiz hale getirilmektedir. Sonrasında vakum altında yoğunlaştırma ve kristalizasyon işlemleri uygulanarak elde edilen kristaller santrifüjle ayrılıp kurutulmaktadır. Ürün son aşamada, toz veya granül formuna getirilmekte ve partikül boyutuna göre sınıflandırılmaktadır.

İzomalt üretiminde dikkat edilmesi gereken temel parametreler arasında sıcaklık, pH ve hidrojen basıncı bulunmaktadır. Hidrojenasyon basamağında optimum sıcaklık genellikle 100–130°C aralığında, pH değeri ise 6–8 arasında tutulmaktadır. Aşırı yüksek sıcaklık, yan ürün oluşumuna ve tat kaybına neden olabileceği için proses koşulları titizlikle kontrol edilmektedir. Ayrıca üretim sürecinde nem kontrolü büyük önem taşımakta ve nihai ürünün kristal stabilitesinin korunması amacıyla nem oranı %0,1'in altında tutulmaktadır.

Günümüzde izomalt üretimi giderek daha sürdürülebilir hale getirilmektedir. Son yıllarda geliştirilen biyoteknolojik yöntemlerle, genetik olarak optimize edilmiş enzimlerin kullanımı sayesinde izomaltuloz verimi artırılmakta ve kimyasal hidrojenasyon aşaması daha düşük enerjiyle gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşımlar hem maliyeti düşürmekte hem de çevresel etkileri azaltmaktadır.

Elde edilen izomalt, uluslararası kalite standartlarına uygun olarak yüksek saflıkta (%99'un üzerinde) üretilmektedir. Ürün, Avrupa Birliği Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği (EC 1333/2008) kapsamında "E953" kodu ile onaylanmış olup, üretim süreçleri GMP (Good Manufacturing Practice) ilkelerine göre yürütülmektedir. Bu standartlar, izomalt'ın güvenli, stabil ve toksikolojik olarak zararsız bir tatlandırıcı olarak gıda zincirinde yer almasını sağlamaktadır.

6.4. İzomalt'ın Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

İzomalt, beyaz renkli, kristal yapılı, kokusuz ve hafif tatlı bir bileşiktir. Molekül yapısında sekiz hidroksil grubu bulunmakta ve bu yapı, izomalt'ın hem suda çözünürlüğünü hem de ısıya dayanıklılığını belirlemektedir. Ortalama molekül ağırlığı 344,31 g/mol'dür. İzomalt, sakkaroz kadar kolay çözünmemekle birlikte, sudaki çözünürlüğü 25°C'de 24 g/100 mL'dir. Sıcaklığın artışıyla birlikte sudaki çözünürlüğü de artmakta, 60°C'de 50 g/100 mL seviyesine ulaşmaktadır. Bu özellik, özellikle sıcak proseslerde üretilen şekerleme ve fırıncılık ürünlerinde avantaj sağlamaktadır.

İzomalt'ın erime noktası yaklaşık 145–150°C arasındadır. Eritritol veya maltitol gibi diğer poliollerden farklı olarak karamelizasyon eğilimi düşük, ısıl stabilitesi ise oldukça yüksektir. Bu nedenle pişirme ve pastörizasyon gibi yüksek sıcaklık gerektiren işlemlerde yapısal bozulmaya uğramadan kullanılabilir. İzomalt'ın higroskopik olmaması, yani ortam nemini absorbe etmemesi, ürünlerin yüzeyinde yapışma ve kristal bozulması riskini ortadan kaldırmaktadır. Bu özellik, özellikle şeffaf sert şekerler ve kaplamalı ürünlerin uzun raf ömrünü korumasına katkı sağlamaktadır.

İzomalt'ın kimyasal yapısı, Maillard reaksiyonuna katılma eğiliminin düşük olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle protein içeren karışımlarda ısıl işlem sırasında renk değişimi veya istenmeyen aromatik bileşiklerin oluşumu gözlenmemektedir. Ayrıca pH 3–9 aralığında kimyasal olarak stabil kalmakta ve asidik ortamda dahi hidrolize olmamaktadır. Bu özellik, asitli içeceklerde, meyve dolgularında ve vitamin katkılı ürünlerde formülasyon kararlılığını korumaya yardımcı olmaktadır. Organoleptik açıdan izomalt'ın tat profili sakkarozla oldukça yakındır. Tatlılık yoğunluğu, sakkarozun yaklaşık %50–60'ı kadardır ve tat algısı yavaş başlamaktadır. İzomalt, metalik veya yapay bir tat oluşturmadığı için özellikle yüksek duyu kalite gerektiren ürünlerde tercih edilmektedir. Serinletici etki göstermemekte, ağızda dengeli ve doğal bir tat hissi bırakmaktadır. Bu nedenle eritritol gibi serinletici etkiye sahip poliollerle karşılaştırıldığında, daha nötr bir tat profiline sahiptir ve çikolata, karamel veya süt bazlı ürünlere daha uygun bir duyu yapı sağlamaktadır.

İzomalt'ın viskozite oluşturma özelliği, gıda yapılarında doku dengeleyici bir rol üstlenmektedir. Şeker yerine kullanıldığında, ürünün ağızda bıraktığı dolgunluğu ve kıvam hissini koruyabilmektedir. Ayrıca nem aktivitesi düşük olduğu için mikrobiyal gelişimi desteklememektedir. Bu durum, ürünlerin mikrobiyal dayanıklılığını artırmaktadır. İzomalt'ın düşük çözünürlükte kristalize olması, buzlanma veya pütürlenme gibi fiziksel bozulmaları da

engellemektedir. Duyusal analizlerde izomalt'ın tat profili ve çözünürlük özellikleri, sakkarozun doğal tat karakteristiğine en yakın poliollerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle izomalt, özellikle diyetetik çikolata, sakız, şekerleme ve ilaç kaplama ürünlerinde tercih edilmektedir. Ayrıca, tatlılık hissinin uzun sürmesi ve metalik tat bırakmaması, tüketici memnuniyetini artırmaktadır.

6.5. İzomalt'ın Kullanım Alanları

İzomalt, gıda endüstrisinde düşük kalorili tatlandırıcı, hacim verici ve tekstür düzenleyici olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle sakkarozun fiziksel özelliklerine yakın yapısı sayesinde şekerleme, çikolata, fırıncılık ürünleri, diyetetik içecekler ve sütlü tatlılarda sıklıkla tercih edilmektedir. Tatlılık yoğunluğunun sakkarozun yaklaşık yarısı kadar olması, izomalt'ın diğer yüksek yoğunluklu tatlandırıcılarla (örneğin asesülfam-K, stevia veya sukraloz) birlikte kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu kombinasyon hem enerji değerini düşürmekte hem de doğal tat profiline daha yakın bir duyuşal denge sağlamaktadır.

Şekerleme sektöründe izomalt'ın en yaygın kullanım alanı sert şekerler, naneli pastiller ve şekersiz sakızlardır. İzomalt'ın serinletici etki göstermemesi ve cam benzeri parlak kristal yapısı, bu ürünlerde istenen duyuşal kaliteyi desteklemektedir. Ayrıca higroskopik olmaması sayesinde şekerlerin yüzeyinde nemden kaynaklanan yapışma ve deformasyon oluşmamaktadır. İzomalt'ın yavaş çözünmesi, ağızda tatlılık hissinin uzun sürmesini sağlamakta ve ürünün tüketici açısından daha tatmin edici bir profile sahip olmasına katkıda bulunmaktadır. Fırıncılık ürünlerinde izomalt, sakkarozun yerine kısmen ikame edilerek kullanılmaktadır. Maillard reaksiyonuna katılmaması nedeniyle ürün rengini etkilememektedir. Aynı zamanda pişirme sırasında stabil kalmaktadır. Bu özelliği sayesinde özellikle düşük kalorili bisküvilerde, keklerde ve diyetik kurabiyelerde izomalt'ın kullanımı tercih edilmektedir. Ayrıca düşük higroskopikliği, ürünlerin raf ömrünü uzatmakta ve gevrek dokunun korunmasına yardımcı olmaktadır.

Çikolata ve kaplama ürünlerinde izomalt, kristal yapısının düzgün olması nedeniyle düzgün bir yüzey görünümü ve yüksek parlaklık sağlamaktadır. Aynı zamanda sakkarozun erime davranışına benzer bir erime profiline sahip olması nedeniyle ağızda dağılma hızı, kontrollü olmaktadır. Bu özellik, özellikle diyetetik çikolatalar ve enerji barları gibi fonksiyonel ürünler için önemli bir avantajdır. İçecek endüstrisinde izomalt, düşük kalorili veya şekersiz formülasyonlarda dolgu ve tat dengeleyici olarak kullanılmaktadır. İzomalt'ın

çözünürlüğü eritritol kadar yüksek olmamakla birlikte, asidik ortamlarda kararlılığını koruması sayesinde meyve suyu, enerji içeceği ve sporcu içeceklerinde stabil bir tat profili oluşturulabilmektedir. Ayrıca diyetetik sütlü içeceklerde laktoz intoleransı bulunan bireyler için uygun bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Farmasötik endüstride izomalt, özellikle çiğneme tabletleri, pastiller ve ağızda dağılan ilaç formlarında, taşıyıcı ve tat düzenleyici madde olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. İzomalt'ın nötr tadı, düşük higroskopikliği ve hızlı çözünürlüğü, farmasötik formülasyonlarda hem fiziksel hem de kimyasal stabilite sağlamaktadır. Ayrıca düşük glisemik indeksi nedeniyle diyabetik hastalara yönelik farmasötik ürünlerde de güvenle kullanılmaktadır.

Kozmetik endüstrisinde ise izomalt, nem tutucu ve cilt yumuşatıcı özellikleri nedeniyle losyon, krem ve dudak balsamı gibi ürünlerde yer almaktadır. Su aktivitesini dengeleme kapasitesi sayesinde cilt yüzeyinde nemin korunmasına katkı sağlamakta ve formülasyonun stabilitesini de artırmaktadır. Son yıllarda izomalt'ın kullanımı, “temiz etiketli” ve “doğal kökenli” ürün eğilimleriyle paralel bir biçimde artış göstermektedir. Doğrudan sakkarozdan türetilmesi, tüketici algısında “doğala yakın” bir bileşen olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca enerji değeri düşük, diş dostu, toksikolojik olarak güvenli ve çevre dostu üretim süreçlerine sahip olması, izomalt'ın sürdürülebilir gıda teknolojileri açısından stratejik bir tatlandırıcı olarak önemini pekiştirmektedir.

6.6. Sonuç

İzomalt, düşük kalorili şeker alkolleri arasında kimyasal kararlılığı, duyuusal uyumluluğu ve fizyolojik güvenliği ile öne çıkan bir tatlandırıcıdır. Sakkarozdan türetilen yapısı ile hem doğal kökenli olması hem de duyuusal açıdan sakkarozla en yakın tat profiline sahip bulunması nedeniyle gıda endüstrisinde geniş kabul görmektedir. Enerji değeri sakkarozun yarısı kadar olan izomalt, ilave edildiği ürünün tatlılık yoğunluğunu korurken kalori yükünü azaltmaktadır. Bu yönüyle özellikle obezite ve diyabet gibi metabolik rahatsızlıklara sahip bireyler hedeflenerek üretilen ürünlerde önemli bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.

Fizikokimyasal olarak izomalt'ın yüksek ısıl dayanıklılığı, düşük higroskopikliği ve karamelizasyon eğiliminin sınırlı olması, onu termal işlem gören gıdalarda üstün performans sergileyen bir tatlandırıcı haline getirmektedir. Bu özellikleri, fırıncılık ürünlerinden şekerlemelere, çikolata kaplamalarından diyetetik içeceklerle kadar geniş bir yelpazede kullanılmasına olanak

tanımlanmaktadır. Ayrıca nötr tat profili sayesinde diğer tatlandırıcılarla sinerjik etki oluşturarak ürünün genel lezzet dengesini iyileştirmektedir.

Fizyolojik açıdan değerlendirildiğinde ise izomalt'ın düşük glisemik indeksi ve yavaş sindirimi, kan glukoz düzeyinde ani yükselmelere yol açmadan enerji sağlamasına olanak vermektedir. Gastrointestinal sistemde yüksek toleransa sahip olması, uzun süreli tüketimlerde bile sindirim rahatsızlıklarına neden olmamasını sağlamaktadır. Bununla birlikte ağız florasında bakteriyel fermantasyona uğramaması, diş çürüklerini önleme potansiyeli açısından da izomalt'ı diğer tatlandırıcılardan ayırmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde izomalt hem duyuşsal hem de fonksiyonel özellikleriyle günümüz gıda teknolojisinin çok yönlü bileşenlerinden biridir. Modern beslenme anlayışında sağlıklı, düşük kalorili ve doğal alternatiflere yönelimin artmasıyla birlikte, izomalt'ın kullanımının gelecekte daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Bu yönüyle izomalt, yalnızca bir tatlandırıcı değil, sürdürülebilir ve dengeli beslenmeyi destekleyen yenilikçi bir gıda katkı maddesi olarak önemini korumaktadır.

7. MALTİTOL

7.1. Maltitol'ün Tanımı

Maltitol (E965), kimyasal olarak disakkarit alkol yapısında bir polioldür ve endüstriyel ölçekte genellikle nişasta kaynaklı maltözün katalitik hidrojenasyonu ile elde edilmektedir. Kimyasal formülü $C_{12}H_{24}O_{11}$ olan maltitol, sakkarozun fiziksel ve duyuşsal özelliklerine oldukça yakın özellikler sergileyen bir bileşiktir. Tatlılık derecesi sakkarozun % 75–90'ı arasında değişmekte olup, kalori değeri yaklaşık 2,1 kcal/g olarak bildirilmektedir. Bu nedenle maltitol, ilave edildiği gıdanın enerji yükünü azaltırken, tatlılık hissini koruyabilen alternatif bir tatlandırıcı olarak gıda endüstrisinde önemli bir konumda yer almaktadır

Maltitol, oda sıcaklığında beyaz kristal toz veya renksiz viskoz bir şurup formunda bulunmaktadır. Suda yüksek çözünürlüğe sahip olup, özellikle 20°C'de 200 g/100 mL'ye kadar çözünebilmektedir. Bu yüksek çözünürlük oranı, maltitol'ün sıvı formülasyonlarda kolaylıkla dağılmasını ve kararlı çözeltiler oluşturmasını sağlamaktadır. Fizikokimyasal açıdan maltitol higroskopik yapıda olmaması sebebiyle şekerleme, çikolata ve kaplama ürünlerinde yüzey parlaklığının korunmasını sağlamak ve nem kaynaklı deformasyonları önlemek amacıyla kullanılabilir. İndirgen şeker özelliği taşımayan maltitol,

Maillard reaksiyonuna katılmamakta ve ilave edildiği üründe pişirme sırasında renk veya aroma değişimine yol açmamaktadır.

Organoleptik özellikler bakımından maltitol, sakkarozu benzer bir tat profili sergilemektedir. Tatlılık hissi hızlı başlamaktadır. Ağızda kalıcılığı ise sakkarozunkine yakın seviyededir. Serinletici bir tat oluşturması, onu eritritol veya ksilitol gibi poliollerden ayırmaktadır. Ayrıca nötr aromatik karakteri sayesinde diğer yüksek yoğunluklu tatlandırıcılarla (örneğin asesülfam-K, sukraloz veya stevia) birlikte kullanılabilir. Bu durum, üründe sinerjik bir tat dengesi yaratmaktadır. Bu özelliği nedeniyle çikolata, bisküvi, dondurma, sütlü tatlı ve şurup formülasyonlarında sıkça tercih edilmektedir.

Beslenme fiziolojisi açısından maltitol, sindirim sisteminde kısmen absorplanabilen bir karbonhidrat türüdür. İnce bağırsakta enzimatik olarak yavaş parçalanmakta, absorplanamayan kısımlar ise kalın bağırsakta mikrobiyota tarafından fermente edilmektedir. Bu fermentasyon süreci kısa zincirli yağ asitlerinin (asetat, bütirat, propiyonat) oluşumuna yol açmaktadır ve bağırsak sağlığına olumlu katkılar sağlamaktadır. Maltitol'ün glisemik indeksi yaklaşık 35–40 olup, sakkarozunkinden belirgin biçimde düşüktür. Bu nedenle kan glukoz düzeyinde ani artışlara neden olmamakta ve özellikle diyabetik bireyler için uygun bir tatlandırıcı olarak kabul edilmektedir. Maltitol'ün metabolik davranışı aynı zamanda enerji dengesi ve tokluk hissi açısından da değerlendirilmektedir. Sindirimini yavaş olması, enerji salınımını dengelemekte ve ani insülin tepkilerini sınırlamaktadır. Ayrıca yapılan klinik çalışmalar, maltitol'ün gastrointestinal sistemde diğer poliollere göre daha yüksek tolerans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, özellikle yüksek dozlarda dahi mide rahatsızlığı veya laksatif etki oluşturma riskinin, ksilitol ve sorbitole göre daha düşük olmasını sağlamaktadır.

7.2. Maltitol'ün Tarihsel Gelişimi

Maltitol'ün tarihsel gelişimi, 20. yüzyılın ortalarında şeker ikameleri üzerine yürütülen endüstriyel araştırmalara dayanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında artan enerji kaynağı ihtiyacı, gıda endüstrisini hem ekonomik hem de fiziolojik olarak daha uygun karbonhidrat türleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu dönemde polioller bileşikler, enerji değerleri düşük, tat profilleri ise sakkarozu yakından olduğundan, bilim insanlarının dikkatini çekmiştir. 1950'li yıllarda Alman ve Japon araştırmacılar, nişasta türevi şekerlerin hidrojenasyonu yoluyla elde edilebilecek yeni bileşiklerin üzerinde çalışmıştır. Bu araştırmaların sonucu olarak maltözün indirgenmesiyle maltitol sentezlenmiştir. 1960'ların sonlarına doğru ise bu bileşiğin stabilitesi, ısı dayanıklılığı ve düşük higroskopikliği nedeniyle endüstriyel olarak üretilebileceği anlaşılmıştır.

1970’li yıllarda Avrupa gıda endüstrisi, alternatif tatlandırıcıların güvenli kullanımına yönelik düzenleyici çerçeveler geliştirmeye başlamıştır. Bu dönemde polioller arasından özellikle sorbitol, mannitol, izomalt ve maltitol üzerine yoğunlaşmıştır. Maltitol’ün yüksek tatlılık oranı, sakkaroz benzeri dokusal özellikleri ve düşük kalori değeri, onu endüstriyel ölçekte üretim için ön plana çıkarmıştır. 1980’li yılların başında Fransa ve Almanya merkezli şirketler, nişasta bazlı şekerlerin hidrojenasyonu yoluyla yüksek saflıkta kristal maltitol üretimini başlatmıştır. 1983 yılında Japonya, maltitol’ü gıda katkı maddesi olarak onaylamış ve kısa sürede “şekersiz” ürün pazarında yaygın kullanımına olanak tanımıştır.

Avrupa Birliği, 1985 yılında maltitol’ü “E965” kodu ile gıda katkı maddesi olarak tanımlamış ve 1990’larda EFSA’nın öncülü olan Bilimsel Gıda Komitesi tarafından yapılan toksikolojik değerlendirmeler sonucunda “ADI not specified” statüsünü vermiştir. Bu ifade, maltitol’ün belirlenen doz aralıklarında güvenli olarak tüketilebileceğini göstermektedir. Ardından 1996 yılında ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), maltitol ve maltitol şurubunu “Generally Recognized as Safe (GRAS)” statüsüne almıştır. Bu onaylar, tatlandırıcının küresel pazarda hızla yayılmasına yol açmıştır. 2000’li yılların başına gelindiğinde maltitol, diyabetik ve diyetetik ürün formülasyonlarının temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir.

2000’li yıllarda artan klinik çalışmalar, maltitol’ün düşük glisemik yanıt ve yüksek gastrointestinal tolerans özelliklerini ortaya koymuştur. Böylece hem sağlık otoriteleri hem de endüstri tarafından “fizyolojik olarak güvenli” tatlandırıcılar sınıfında değerlendirilmiştir. Bu dönemde yapılan araştırmalar, maltitol’ün özellikle çocuklara yönelik ürünlerde diş çürüğüne neden olmadığını ve “tooth-friendly” etiketli ürünlerde kullanılabilirliğini göstermiştir. 2010’lardan itibaren EFSA, polioller üzerine yürütülen yeniden değerlendirme çalışmalarında, maltitol’ün genotoksisite, teratojenite ve metabolik etkileri açısından güvenli olduğunu bir kez daha doğrulamıştır. Bu durum, 2020’li yıllarda Avrupa ve Asya pazarında maltitol’ün doğal ve düşük kalorili tatlandırıcılar arasında halen en çok tercih edilenlerden biri olmasını sağlamıştır.

7.3. Maltitol’ün Üretimi

Maltitol, endüstriyel olarak nişasta bazlı karbonhidratların çok aşamalı kimyasal indirgenmesiyle üretilmektedir. Sürecin ilk aşaması, nişastanın α -amilaz ve glukoamilaz enzimleri kullanılarak maltoz bakımından zengin hidrolizatlara dönüştürülmesidir. Bu enzimatik hidroliz sonucunda %50–70 oranında maltoz içeren şuruplar elde edilir. İkinci aşamada ise bu şuruplar

katalitik hidrojenasyon işlemine tabi tutulur ve hidrojen gazının, yüksek basınç altında nikel veya rutenyum destekli katalizörler aracılığıyla maltozun indirgenmesini sağlaması hedeflenir. Reaksiyonun sonunda maltozun aldehit grubu alkol grubuna dönüştürülür ve ürün maltitol olarak kristallendirilir.

Katalitik hidrojenasyonun etkinliği katalizör türü, sıcaklık, basınç ve pH gibi işlem parametrelerine sıkı sıkıya bağlıdır. Geleneksel olarak raney-nikel katalizörleri kullanılmakta olup 100–130 °C sıcaklık ve 50–100 bar basınç aralıkları optimum verim koşulları olarak bildirilmiştir. Ancak son yıllarda çevresel sürdürülebilirlik ve seçiciliğin artırılması amacıyla rutenyum ve platin esaslı katalizörlerin kullanımına yönelinmiştir. Bu katalizörler, yan ürün olarak oluşan sorbitol veya mannitol miktarını azaltmakta ve maltitol verimini %90'ın üzerine çıkarabilmektedir. Hidrojenasyon sonrasında şurup, aktif karbon filtrasyonu ve iyon değişimi gibi arıtma işlemlerinden geçirilerek renksiz, kokusuz ve nötr tat profiline sahip hale getirilir.

Üretilen maltitol, uygulama alanına göre kristal maltitol (E965(i)) ve maltitol şurubu (E965(ii)) olmak üzere iki farklı formda standartlaştırılmaktadır. Kristal form, özellikle çikolata, şekerleme ve tablet kaplama ürünlerinde tercih edilirken; sıvı form, yüksek viskozite ve stabilite gerektiren içecek ve sütü tatlılarda kullanılmaktadır. Kristalizasyon sürecinde sıcaklığın kademeli olarak düşürülmesiyle saf, parlak ve homojen kristaller elde edilirken; sıvı formda yoğunluk, viskozite ve su aktivitesi üretici standartlarına göre ayarlanmaktadır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) bu iki form için tanım ve saflık kriterlerini ayrıntılı biçimde belirlemiştir. Ürünlerin kül, indirgen şeker, ağır metal ve nem oranları için maksimum limitleri tanımlamıştır.

Güncel üretim yaklaşımlarında enerji verimliliğini artırmak ve karbon ayak izini azaltmak amacıyla biyoteknolojik yöntemler de geliştirilmiştir. Özellikle mikrobiyal sistemlerle gerçekleştirilen biyokatalitik hidrojenasyon süreçleri, metal katalizör gereksinimini ortadan kaldırarak çevreye duyarlı üretim olanağı sunmaktadır. Bu yöntemlerde NAD(P)H-bağımlı dehidrogenaz enzimleri veya belirli mikrobiyal türler kullanılarak maltozun indirgenmesi sağlanmakta ve reaksiyon daha düşük sıcaklık ve basınçta yürütülebilmektedir. Bu biyokimyasal yaklaşımların gelecekte klasik hidrojenasyonun yerini kısmen alabileceği öngörülmektedir.

7.4. Maltitol'un Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Maltitol, maltozun katalitik indirgenmesiyle elde edilen disakkarit alkol yapısı sayesinde indirgen şeker özellikleri göstermemektedir. Bu nedenle ısıt

işlem sırasında Maillard reaksiyonuna katılım eğilimi sergilememektedir. Beyaz kristal toz veya şeffaf şurup formunda sunulan ürün, suda iyi çözünürlük ve nötr aromatik karakter sergilemektedir. Isı (<160°C'ye kadar) ve pH 2-10 aralıklarında kimyasal stabilitesinin yüksek oluşu sebebiyle pastörizasyon, pişirme ve depolama gibi proseslerde renk ve aroma bütünlüğünün korunmasına katkı vermektedir. Endüstriyel spesifikasyonlar kapsamında E965(i) kristal maltitol ile E965(ii) maltitol şurubu için kül, indirgen şeker, ağır metal ve nem limitlerinin tanımlanmış olması, ürünlerin parti bazında tutarlılığını desteklemekte ve raf ömrü boyunca fiziksel-kimyasal stabilitenin izlenmesine olanak tanımaktadır.

Maltitol'un çözünürlük, viskozite ve kristalizasyon davranışı, gıda matrislerinde hedeflenen doku ve parlaklık özelliklerinin elde edilmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Yüksek kuru madde içeren şuruplarda sıcaklığa duyarlı viskozite düşüşü, homojen dağılımı ve proses kontrolünü kolaylaştırırken, kristal formda kontrollü soğutma ve uygun çekirdekleme koşulları ile şeffaf-parlak, mekanik olarak dengeli kristaller elde edilebilmektedir. Düşük higroskopisite ve cam benzeri parlak kristal morfoloji, panning/kaplama uygulamalarında düzgün yüzey, şekerlemelerde yapışma riskinin azalması ve çikolata sistemlerinde istikrarlı bir erime-katılma profiliyle ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda maltitol, sakkarozun hacim verici ve yapı kazandırıcı işlevlerini büyük ölçüde taklit edebilmekle birlikte, ısıl ve mekanik strese rağmen yüzey görünümü ve kırılmalıkta süreklilik sağlayabilmektedir.

Organoleptik açıdan maltitol'un tat profili sakkaroz benzer hızlı başlangıçlı ve kalıcı bir tatlılık sunmaktadır. Serinletici metalik bir tat bırakmaması sebebiyle ise eritritol veya ksilitol gibi poliollerden ayrılmaktadır. Tatlılık derecesi sakkarozdan daha düşük olmakla birlikte nötr lezzet karakteri, asesülfam-K, sukraloz veya steviol glikozitleri gibi yüksek yoğunluklu tatlandırıcılarla sinerjik kombinasyonlar kurulmasına elverişlidir. Bu sinerji, tat boşluklarını doldurarak daha doğal bir tat eğrisi ve dengeli bir ağız hissi elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Duyusal bütünlüğün korunması, özellikle çikolata, kaplama, fırıncılık ve sütlü tatlı kategorilerinde hedeflenen parlaklık-gevreklik-erime profilinin eşzamanlı sağlanmasıyla birlikte değerlendirildiğinde, maltitol'ü yalnızca düşük enerjili bir tatlandırıcı değil aynı zamanda fonksiyonel bir yapı bileşeni konumuna taşımaktadır.

7.5. Maltitol'un Kullanım Alanları

Maltitol, düşük kalorili yapısı, sakkaroz benzer tat profili ve üstün fizikokimyasal kararlılığı sayesinde gıda endüstrisinde geniş bir kullanım alanına

sahiptir. Tatlılık düzeyi sakkarozun yaklaşık %75–90'ı kadar olan bu bileşik, aynı zamanda hacim verici özellik taşıdığı için birçok üründe şekerin doğrudan yerine kullanılabilir. Özellikle şekerli veya düşük kalorili ürünlerin üretiminde (örneğin çikolata, şekerleme, bisküvi, dondurma, içecek ve diyet ürünleri) maltitol'un kullanımı yaygın biçimde tercih edilmektedir. Maltitol, ısıl stabilitesi sayesinde pişirme ve pastörizasyon gibi işlemler sırasında bozulmadan tatlılığını koruyabilmektedir. Bu özellik, özellikle fırıncılık ürünlerinde karamelizasyon ve renk bozulmasını engelleyerek ürün kalitesini artırmaktadır.

Şekerleme ve çikolata endüstrisinde, maltitol hem tatlandırıcı hem de yapı düzenleyici olarak işlev görmektedir. Sakkaroz benzeri kristalizasyon davranışı, parlak görünüme sahip olması ve düşük higroskopisitesi sayesinde sert şekerler, sakızlar ve çikolata kaplamalarında tercih edilmektedir. Aynı zamanda eritme ve yeniden kristalizasyon profili sakkarozla benzerlik gösterdiği için, termal işlem sırasında düzgün bir doku ve parlak bir yüzey elde edilmesine olanak tanımaktadır. Çikolata formülasyonlarında yağ fazı ile uyumlu yapısı, homojen bir erime profili oluşturur. Bu durum, ağızda daha yumuşak ve doğal bir tat algısının oluşmasına yol açmaktadır.

Fırıncılık ve sütlü tatlı ürünlerinde maltitol, düşük glisemik indeksi ve ısıya dayanıklı yapısı sayesinde avantajlar sağlamaktadır. Tatlılık ve nem tutma kapasitesi, kek ve bisküvi gibi ürünlerde hacim kaybını önlerken, kremalar ve dolguların yapısal bütünlüğünü korumaya yardımcı olur. Ayrıca maltitol, karamelize olmadığından ürünlerde istenmeyen renk değişimlerini engeller. Sütlü tatlılarda pH değişimlerine karşı stabil kalması, asidik ortamlarda bile tat ve viskozite dengesinin korunmasını sağlar.

Düşük enerji değeri (yaklaşık 2.1 kcal/g) sayesinde özellikle diyabetik bireyler için formüle edilen gıda ürünlerinde kullanılır. Yavaş sindirimi, kan glukoz seviyesinin ani yükselmesini engeller ve düşük glisemik indeksli diyetlerde tüketimi tercih edilmektedir. Avrupa Diyabet Derneği (EASD) tarafından da poliollerin kontrollü kullanımının diyabet yönetiminde güvenli olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, maltitol'un ağız florasında bakteriler tarafından fermente edilmemesi, diş çürüklerini önleyici özelliğini desteklemekte ve "tooth-friendly" etiketli sakız ve pastillerde tercih edilmesini sağlamaktadır.

Farmasötik uygulamalarda, maltitol özellikle tablet kaplama ve şurup formülasyonlarında taşıyıcı ve tat düzeltici olarak kullanılmaktadır. Su aktivitesinin düşük olması, neme duyarlı bileşenlerle formülasyon uyumunu artırmaktadır. pH kararlılığı ise ilaçların raf ömrünü uzatmaktadır. Maltitol şurubu, ayrıca stabil viskozitesi sayesinde öksürük şuruplarında tercih edilen bir taşıyıcı olarak işlev görmektedir.

7.6. Sonuç

Maltitol, hem kimyasal yapısı hem de teknolojik özellikleri bakımından günümüz gıda endüstrisinin en önemli düşük kalorili tatlandırıcılarından biri haline gelmiştir. Sakkarozaya yakın tat profili, yüksek ısı ve pH stabilitesi, düşük higroskopisitesi ve eklendiği ürüne kristal formda parlak görünüm kazandırma özelliği sayesinde pek çok gıda ürününe doğrudan ikame edilebilmektedir. Enerji değeri sakkarozun yaklaşık yarısı kadar olan maltitol, diyetetik ve diyabetik ürünlerin formülasyonlarında tatlılık algısını korurken, kalori alımını azaltarak sağlıklı beslenme hedefleriyle uyumlu çözümler sunmaktadır.

Üretim teknolojilerindeki ilerlemeler, özellikle katalitik hidrojenasyon alanında sağlanan gelişmeler, maltitol'ün daha yüksek saflıkta, çevreye duyarlı ve ekonomik biçimde elde edilmesini mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler, maltitol'ün sadece bir tatlandırıcı değil; aynı zamanda sürdürülebilir gıda üretiminde stratejik bir bileşen olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Fizikokimyasal özellikleri sayesinde gıda matrisinin doku, viskozite ve parlaklık dengelerini koruyabilmesi, ürün stabilitesini artırarak raf ömrünü uzatmaktadır.

Duyusal yönden sakkarozaya en yakın poliollerden biri olan maltitol, ağızda pürüzsüz bir tat hissi bırakmakta ve serinletici ya da metalik bir tat oluşturmamaktadır. Bu özellikler sayesinde özellikle çikolata, şekerleme, sütlü tatlılar ve kaplama ürünlerinde doğal tat algısının korunmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca ağız florasında bakteriyel fermantasyona uğramaması, diş çürüklerinin önlenmesine yardımcı olması açısından da ayrı bir değere sahiptir. Genel olarak maltitol, hem teknolojik işlevselliği hem de fizyolojik güvenliği ile modern gıda üretiminin "sağlıklı tatlandırıcı" yaklaşımını temsil etmektedir. Tatlandırıcı pazarında giderek artan doğal ve düşük enerjili ürün talebi, önümüzdeki yıllarda maltitol'ün kullanımını daha da yaygınlaştıracaktır. Bu bileşiği yalnızca bir şeker alternatifi olmanın yanı sıra geleceğin fonksiyonel gıda bileşenlerinden biri haline getirecektir.

8. KSİLİTOL

8.1. Ksilitol'ün Tanımı

Ksilitol, beş karbonlu bir şeker alkolü (pentitol) olup kimyasal formülü $C_5H_{12}O_5$ olan, doğal olarak meyvelerde, sebzelerde ve bazı mantar türlerinde düşük konsantrasyonlarda bulunan bir polioldür. Moleküler yapısı itibarıyla ksilozun indirgenmiş hâlidir ve hem lignoselülozik materyallerden hem de çeşitli

biyokimyasal dönüşüm süreçlerinden elde edilebilmektedir. Ksilitol'un tatlılık derecesi sakkaroz ile karşılaştırıldığında yaklaşık %90–100 düzeyindedir. Bu nedenle duyuşal açıdan sakkaroz ile oldukça benzer bir tat profili sunmakta ve tüketici kabulü yüksek bir tatlandırıcı olarak değerlendirilmektedir.

Metabolik açıdan ksilitol'un önemli özelliklerinden biri, metabolizmasının insüline bağımlı olmamasıdır. Ksilitol, enterositlerde pasif difüzyon ile absorplanmakta ve karaciğerde pentoz fosfat yoluna katılarak metabolize edilmektedir. Bu süreçte glikoz ve fruktoz ile karşılaştırıldığında kan şekeri üzerinde minimal artışa neden olmaktadır. Bu durum ksilitol'ü özellikle diyabetik bireyler için uygun bir tatlandırıcı haline getirmektedir. Enerji değeri yaklaşık 2,4 kcal/g olup sakkarozdan daha düşüktür. Düşük kalorili ürünlerde kullanıma uygundur.

Ksilitol'un en bilinen ve literatürde en çok vurgulanan özelliklerinden biri, diş sağlığı üzerindeki olumlu etkisidir. *Streptococcus mutans* gibi başlıca çürük oluşturan bakteriler, ksilitol'ü metabolize edememektedir. Böylece bakteriyel asit üretimi azalmakta ve diş minesine zarar veren süreçler yavaşlamaktadır. Ayrıca ksilitol'un bakteriyel adezyonu azaltarak plak oluşumunu baskıladığı da gözlemlenmiştir. Bu nedenle ksilitol, günümüzde sakız, pastil ve ağız bakım ürünü gibi pek çok ürün formülasyonunda yer almaktadır.

Fizikokimyasal açıdan beyaz kristal, kokusuz, stabil bir bileşik olan ksilitol, higroskopik değildir. Endotermik çözünme özelliği nedeniyle ağızda serinletici bir etki bırakmaktadır. Bu özelliği sebebiyle sakız ve naneli şekerlemelerde kullanımı tercih edilmektedir. Ayrıca ksilitol, su aktivitesini düşürme kapasitesi sayesinde gıdalarda nem dengeleyici ve yapısal stabilite artırıcı ajan olarak da kullanılabilir.

Gıda güvenliği açısından ksilitol, hem FDA (Generally Recognized as Safe – GRAS) hem de EFSA tarafından güvenli kabul edilen tatlandırıcılar arasında yer almaktadır. Ksilitol için belirlenmiş bir kabul edilebilir günlük alım (ADI) değeri bulunmamakla birlikte, yüksek miktarlarda tüketiminin laksatif etki gösterebileceği bildirilmektedir. Ayrıca toksikolojik araştırmalar ksilitol'un insan tüketimi açısından güvenli olduğunu ve özellikle kontrollü tüketiminde herhangi bir olumsuz etkinin görülmediğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde ksilitol, tatlılık profili, düşük glisemik etkisi, anti-karyojenik özellikleri ve teknolojik fonksiyonları nedeniyle gıda endüstrisi, farmasötik uygulamalar ve ağız sağlığı ürünlerinde önemli bir bileşen olarak kabul görmektedir.

8.2. Ksilitol'ün Tarihsel Gelişimi

Ksilitol'ün tarihsel gelişimi hem kimyasal olarak tanımlanması hem de gıda ve sağlık alanındaki kullanımının genişlemesi açısından çok aşamalı bir süreçtir. Literatürde ilk kez 20. yüzyılın ortalarında sistematik olarak tanımlanmış ve kimyasal özellikleri ayrıntılı biçimde raporlanmıştır. Poliöl tatlandırıcılar üzerine yapılan erken dönem araştırmalar, ksilitol'ün ksilozu indirgenmesi ile elde edilen beş karbonlu bir şeker alkolü olduğunu ve sakkaroz benzer tat profili sunduğunu göstermiştir. Bu yıllardan itibaren ksilitol, özellikle Avrupa'da alternatif bir karbonhidrat kaynağı olarak değerlendirilmeye başlanmıştır.

Ksilitol'ün bilimsel ve endüstriyel alanda asıl gündeme gelişi, 1970'li yıllarda gerçekleşmiştir. Finlandiya'da yürütülen Turku Sugar Studies, ksilitol'ün diş çürüklerini azaltıcı etkisini deneysel olarak doğrulamıştır. Bu çalışma, anti-karyojenik özelliklerini ortaya koyan ilk büyük ölçekli klinik çalışma olmuştur. Elde edilen bulgular, ksilitol'ün ağız sağlığı ürünlerinde kullanımını hızlı bir şekilde artırmış ve ksilitol sakızlarının dünya çapında yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır. Aynı dönemde Avrupa ülkelerinde ksilitol, düşük kalorili diyet ürünlerinde ve diyabetik gıdalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

1980 ve 1990'lı yıllarda ksilitol'ün fizyolojik ve metabolik etkileri üzerine yapılan araştırmaların sayısı artmıştır ve insülin bağımsız metabolizması sayesinde diyabetik bireyler için güvenli bir alternatif tatlandırıcı olduğu bilimsel olarak ortaya konmuştur (Mäkinen, 2011). Bununla birlikte, yalnızca diş sağlığı ve tatlandırıcı olarak kullanımının ötesinde ksilitol'ün gastrointestinal sistem üzerine etkileri ve olası prebiyotik etkileri, çeşitli klinik ve in vitro çalışmalarda araştırılmıştır.

2000'li yıllardan itibaren teknolojik gelişmeler ve sürdürülebilir üretim yaklaşımları sayesinde ksilitol'ün üretimi daha verimli hale gelmiştir. Kimyasal hidrojenasyon süreçlerinin yanı sıra biyoteknolojik yöntemlerin de kullanımıyla üretimi yaygınlaşmıştır. Mikrobiyal ve enzimatik üretim teknikleri, özellikle hemiselülozik tarımsal atıkların değerlendirilmesi açısından önemli bir sürdürülebilirlik potansiyeli sunmaktadır. Bu gelişmeler ksilitol'ün gıda endüstrisinin yanında farmasötik ve nutrasötik uygulamalarda da daha geniş bir kullanım alanı bulmasına katkı sağlamıştır.

Regülasyon açısından ksilitol, günümüzde ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından GRAS listesinde kabul edilmiş ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından ise güvenli polioller arasında sınıflandırılan bir tatlandırıcıdır. EFSA, ksilitol için belirli bir kabul edilebilir günlük alım limiti

tanımlamamıştır. Tüketim seviyelerinin genel popülasyonda risk oluşturmadığını belirtmiştir. Bu düzenlemeler ksilitol'ün küresel gıda pazarda yaygın ve güvenli bir şekilde kullanılmasının önünü açmıştır.

Günümüzde ksilitol, hem geleneksel şekerleme ve içecek sektörlerinde hem de fonksiyonel gıdalarda, diş sağlığı ürünlerinde ve bazı klinik uygulamalarda önemli bir tatlandırıcı olarak değerlendirilmeye devam etmektedir. Doğal kaynaklardan elde edilebilmesi, düşük glisemik yükü ve olumlu sağlık etkileri, ksilitol'ün modern tüketici beklentileriyle uyumlu bir tatlandırıcı olarak popülerliğini korumasını sağlamaktadır.

8.3. Ksilitol'ün Üretimi

Ksilitol'ün üretimi, endüstriyel ölçekte üç temel yöntem üzerinden gerçekleştirilmektedir: kimyasal hidrojenasyon, mikrobiyal-biyoteknolojik üretim ve enzimatik dönüşüm. Her yöntem, hammadde kaynağı, üretim verimliliği, maliyet ve çevresel sürdürülebilirlik açısından farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Ticari üretimde günümüzde en yaygın kullanılan yöntem, kimyasal hidrojenasyondur. Ancak biyoteknolojik üretim sürdürülebilirlik ve düşük enerji gereksinimi nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Kimyasal hidrojenasyon yöntemi, ksilitol'ün endüstriyel üretiminde uzun yıllardır kullanılan temel bir süreçtir. Bu yöntemde lignoselülozik biyokütleden elde edilen hemiselüloz fraksiyonu, asidik veya enzimatik hidroliz işlemine tabi tutularak ksiloz elde edilir. Ardından ksiloz çözeltisi, yüksek sıcaklık (80–140°C) ve yüksek basınç altında (40–60 bar) nikel, raney nikel, rutenyum veya paladyum gibi metal katalizörler eşliğinde hidrojenlendirilir. Reaksiyon sırasında ortaya çıkan yan ürünler (örneğin arabinitol veya glukitol), kromatografik veya kristalizasyon yöntemleriyle uzaklaştırılır ve yüksek saflıkta ksilitol elde edilir. Kimyasal hidrojenasyon yöntemi, yüksek verimli bir yöntem olmakla birlikte; yüksek enerji tüketimi ve pahalı katalizör ihtiyacı nedeniyle sürdürülebilirlik açısından bazı sınırlılıklar barındırmaktadır.

Mikrobiyal veya biyoteknolojik üretim yöntemleri, son yıllarda artan çevresel kaygılar ve sürdürülebilir üretim arayışları nedeniyle önem kazanmaktadır. Bu yöntemlerde maya, bakteri veya mantar türleri (*Candida tropicalis*, *Candida guilliermondii*, *Debaryomyces hansenii* vb) ksilozu doğal metabolik yollarla ksilitole dönüştürmektedir. Mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen bu biyokonversiyon süreci, daha düşük sıcaklık ve atmosferik basınç altında gerçekleştiği için enerji tüketimi açısından avantajlıdır. Ancak mikrobiyal üretimde verim, suş seçimi, oksijen düzeyi, pH, sıcaklık ve besin

ortamı gibi birçok faktöre bağlı olduğundan, verimliliğin artırılması için süreç optimizasyonu gereklidir. Biyoteknolojik üretimin en önemli avantajı, tarımsal yan ürünlerin (buğday samanı, pirinç kabuğu, mısır posası gibi) doğrudan hammadde olarak kullanılabilmesidir.

Enzimatik üretim yöntemi ise ksilitol dehidrogenaz ve ksiloz redüktaz gibi spesifik enzimlerin kontrollü reaksiyonlarıyla ksilitol oluşumuna dayanır. Enzimatik yöntemler yüksek seçicilik ve yan ürün oluşumunun az olması açısından avantajlıdır. Ancak enzim maliyetlerinin yüksek olması ve endüstriyel ölçekte süreç optimizasyonu gerektirmesi nedeniyle henüz ticari kullanımları sınırlıdır. Buna rağmen, enzim mühendisliği ve rekombinant mikroorganizma alanındaki ilerlemeler, enzimatik üretimi gelecekte daha uygulanabilir hale getirecektir.

Modern çalışmalarda sürdürülebilir üretim teknolojileri öne çıkmaktadır. Özellikle lignoselülozik tarımsal atıkların değerlendirilmesi, çevresel açıdan düşük karbon ayak izine sahip üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve mikrobiyal metabolik yolların iyileştirilmesi üzerine birçok araştırma yürütülmektedir. Küresel gıda pazarının sürdürülebilir tatlandırıcılara yönelik talebi arttıkça, ksilitol'ün biyoteknolojik üretiminin gelecekte daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir.

8.4. Ksilitol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Ksilitol oda sıcaklığında beyaz, kristal yapıda, kokusuz ve suda yüksek çözünürlüğe sahip bir şeker alkolüdür. Molekül yapısı itibarıyla beş karbonlu bir polioldür ve çözünürlük davranışı bakımından sorbitol ve eritritol gibi diğer poliollerle benzerlik göstermektedir. Ksilitol'ün suda çözünürlüğü sıcaklık arttıkça belirgin şekilde yükselmekte olup 25°C'de yaklaşık 65 g/100 mL seviyesindedir. Bu yüksek çözünürlük, ksilitol'ün özellikle içecekler, şurup formülasyonları ve ağız bakım ürünlerinde kolaylıkla kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Termodinamik açıdan ksilitol'ün en karakteristik özelliği, çözünme sırasında endotermik reaksiyon göstermesidir. Bu durum, ksilitol'ün ağızda ferahlatıcı ve soğuk bir his bırakmasına yol açar. Bu özelliği sakız, pastil, naneli şekerleme ve ağız bakım ürünlerinde ksilitol'ün tercih edilme nedenlerinden biridir. Endotermik çözünme davranışı, kristal yapısındaki hidroksil gruplarının su molekülleriyle güçlü etkileşim kurması ve çözünme sırasında çevreden ısı almasıyla açıklanmaktadır. Bu soğutucu etki, tüketici algısı açısından olumlu bir duyuşal özellik olarak değerlendirilmektedir.

Ksilitol higroskopik olmayan bir bileşiktir. Böylece depolama sırasında topaklanma veya yapısal deformasyon riski azalmaktadır. Ayrıca geniş bir pH aralığında kimyasal olarak stabil kalabilmesinin bir sonucu olarak ksilitol, hem soğuk zincir gerektirmeyen ürünlerde hem de ısı işlem gören formülasyonlarda kullanılabilir. Isıl stabilite açısından değerlendirildiğinde, ılımlı sıcaklıklarda iyi dayanım gösterirken ısıtma süresi çok uzadığında veya sıcaklık çok yükseldiğinde ksilitol yapısında bozulma başlayabilmektedir. Ancak bu eşikler, gıda işlemede karşılaşılan standart koşulların üzerindedir ve uygulama açısından herhangi bir sorun oluşturmamaktadır.

Organoleptik açıdan ksilitol'ün tat yoğunluğu, sakkaroz ile büyük ölçüde benzerdir ve tatlılık derecesi sakkarozun yaklaşık %90-100'ü düzeyindedir. Tat profili temiz, nötr, yan tat bırakmayan bir karakterdedir. Diğer bazı poliollerin aksine belirgin metalik, acımsı veya kalıcı bir yan tat oluşturmaz. Bu nedenle duyu olarak tüketici kabulü yüksek bir tatlandırıcıdır. Ağız hissi açısından ksilitol'ün çözünürlüğünün hızlı olması, tatlılık algısının kısa sürede ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Buna karşın tatlılık süresi sakkarozla göre daha kısa olabilir. Bu özellik, özellikle kısa tatlılık profili istenen ürünlerde avantaj oluşturmaktadır.

Gıda teknolojisi açısından ksilitol'ün fizikokimyasal yapısı çeşitli fonksiyonel özellikler sağlamaktadır. Donma noktası düşürücü etkisi, dondurma ve dondurulmuş ürünlerde kristalizasyonu azaltarak daha yumuşak bir doku elde edilmesine katkı sağlar. Ayrıca su aktivitesini düşürücü etkisi sayesinde, fırıncılık ürünlerinde nem dengesinin korunmasına yardımcı olur. Ayrıca raf ömrü, yapısal bütünlük ve duyu kalite üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Ksilitol'ün düşük glikemik indeksi ve metabolik davranışı da ürün formülasyonlarında önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir ve özellikle diyabetik gıdalarda tatlandırıcı olarak kullanımını desteklemektedir.

Genel olarak ksilitol, çözünürlük özellikleri, termodinamik davranışı, duyu avantajları ve kimyasal stabilitesi nedeniyle hem gıda endüstrisi hem de farmasötik uygulamalarda fonksiyonel bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Fizikokimyasal özellikleri hem tatlandırıcı olarak tercih edilmesini sağlamakta hem de endüstriyel süreçlerde kolay işlenebilirlik sunmaktadır.

8.5. Ksilitol'ün Kullanım Alanları

Ksilitol, fizikokimyasal ve duyu özellikleri sayesinde gıda ürünleri, farmasötik ürünler, ağız sağlığı ürünleri ve bazı tıbbi uygulamalar da dahil olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle düşük glikemik indeks, yüksek

çözünürlük, ferahlatıcı etki ve anti-karyojenik özellik gibi avantajları, ksilitol'ü hem endüstriyel hem de klinik uygulamalarda değerli bir bileşen haline getirmektedir.

Gıda endüstrisinde ksilitol, öncelikle düşük kalorili ve şekerless ürünlerde tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Tatlılık düzeyinin sakkarozaya yakın olması ve metalik bir yan tat oluşturmaması, önemli avantajlarından. Şekerless sakızlar, pastiller, şekerlemeler ve fonksiyonel içeceklerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Donma noktası düşürücü etkisi sayesinde dondurma ve dondurulmuş tatlılarda daha yumuşak ve homojen bir doku elde edilmesine katkı sağlar. Fırıncılık ürünlerinde ise nem tutma kapasitesi nedeniyle ürünün bayatlama hızını azaltmakta ve raf ömrünü uzatmaktadır. Düşük glisemik indeksi nedeniyle diyabetik bireylere yönelik gıdalarda tatlandırıcı olarak tercih edilmesi de yaygın bir uygulamadır.

Ağız sağlığı ürünleri, ksilitol'ün en fazla değerlendirildiği alanlardan biridir. *Streptococcus mutans* başta olmak üzere çürüğe sebep olan bakteriler, ksilitol'ü metabolize edemezler. Böylece ksilitol kullanımı, bakteriyel asit oluşumu azalmakta ve diş çürüğü gelişimini dolaylı olarak yavaşlatmaktadır. Ayrıca ksilitol'ün plak oluşumunu azaltması ve tükürük akışını artırması, ağız içi pH dengesinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle diş macunları, gargara ürünleri, sakızlar ve pastillerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Klinik çalışmalarda düzenli ksilitol tüketiminin çürük insidansını azalttığı gösterilmiştir. Bu bulgular birçok diş hekimliği kuruluşunun ksilitol içeren ürünleri önermesine yol açmıştır.

Farmasötik endüstride ksilitol, hem fonksiyonel bir dolgu maddesi hem de tat düzeltici olarak değerlendirilmektedir. Tabletler, şuruplar, oral süspansiyonlar ve çiğneme tabletlerinde ksilitol, ilacın tadını iyileştirmekte ve hasta uyumunu artırmaktadır. Bunun yanında higroskopik olmaması ve kimyasal stabilitesi, farmasötik formülasyonlar açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Solunum yolu enfeksiyonları ile ilgili bazı araştırmalar, ksilitol'ün mukus viskozitesini azaltabileceğini ve nazal yıkama solüsyonları ile nazal spreylerde kullanımı sonucunda rahatlatıcı etki sağlayabileceğini göstermiştir.

Bunlardan başka ksilitol, özellikle hayvan sağlığı ürünlerinde ve veterinerlik alanında zaman zaman değerlendirilmektedir. Ancak insanların aksine köpeklerde ksilitol'ün hipoglisemiye neden olabileceği bilindiğinden, bu alanda kullanımı kontrollü ve sınırlıdır. Endüstriyel anlamda ksilitol'ün polimer üretimi ve bazı biyoteknolojik işlemlerde karbon kaynağı olarak kullanımına yönelik araştırmalar da mevcuttur. Fakat bu alanlarda kullanımı, henüz ticari ölçüğe ulaşmamıştır.

8.6. Sonuç

Ksilitol hem fizikokimyasal özellikleri hem de sağlıkla ilişkili fonksiyonları nedeniyle modern gıda endüstrisinde önemli bir tatlandırıcı olarak konumlanmaktadır. Tatlılık düzeyinin sakkarozaya yakın olması, düşük glisemik indeks değerine sahip olması ve ağızda ferahlatıcı bir his bırakması, ksilitol'ün tüketici açısından tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Böylece şekerli sakız, fonksiyonel içecekler, dondurmalar ve fırıncılık ürünleri gibi geniş bir ürün yelpazesinde kullanılabilir. Kimyasal stabilitesi, higroskopik olmaması ve donma noktası düşürücü etkisi, ksilitol'ün endüstriyel süreçlerde işlevselliğini güçlendiren önemli teknik avantajlardır.

Sağlık açısından bakıldığında ksilitol'ün en belirgin etkisi anti-karyojenik özelliğidir. *Streptococcus mutans* gibi çürük etkeni mikroorganizmaların ksilitol'ü metabolize edememesi, plak oluşumunun ve asit üretiminin azalmasını sağlayarak ağız sağlığının korunmasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle ksilitol, pek çok klinik araştırmada çürük önleyici bir ajan olarak değerlendirilmiş ve ağız sağlığı ürünlerinin formülasyonlarında standart bir bileşen haline gelmiştir. Ayrıca düşük glisemik etkisi sebebiyle ksilitol, diyabetik bireyler için güvenli bir tatlandırıcı alternatiftir. Farmasötik ürünlerde ise tat düzeltici ve formülasyon destekleyici özellikleri sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Üretim yöntemleri açısından değerlendirildiğinde kimyasal hidrojenasyon hâlen endüstriyel ölçekte baskın yöntem olsa da sürdürülebilirlik gereksinimleri nedeniyle biyoteknolojik ve enzimatik üretim teknolojileri giderek önem kazanmaktadır. Lignoselülozik materyallerin değerlendirilmesi, enerji gereksiniminin azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından ksilitol üretiminde mikrobiyal üretim yöntemlerinin kullanımının, gelecekte daha fazla öne çıkabileceği düşünülmektedir. Literatürde bu alanda yürütülen araştırmalar, ksilitol'ün sürdürülebilir üretimine yönelik yeni stratejilerin geliştirilmekte olduğunu göstermektedir.

Genel olarak ksilitol hem fonksiyonel özellikleri hem de sağlık odaklı avantajları nedeniyle günümüz gıda teknolojilerinde ve sağlık ürünlerinde çok yönlü bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Artan tüketici beklentileri ve fonksiyonel gıdalara yönelik ilginin yükselmesi, ksilitol'ün kullanım alanlarının ilerleyen yıllarda daha da genişleyebileceğini göstermektedir. Bu çerçevede ksilitol, doğal ve düşük kalorili tatlandırıcılara yönelik küresel talebin karşılanmasında önemli bir alternatif olmaya devam edecektir.

9. SORBITOL VE MANNİTOL

9.1. Sorbitol ve Mannitol'ün Tanımı

Sorbitol ve mannitol, altı karbonlu şeker alkollerini (hekzitol) sınıfına ait doğal poliollerdir ve kimyasal olarak glikoz ile fruktozun indirgenmiş türevleri olarak tanımlanmaktadır. Sorbitol, glikozun aldehit grubunun indirgenmesiyle oluşurken; mannitol fruktozun keton grubunun indirgenmesi sonucu elde edilmektedir. Her iki poliollerin moleküler formülü $C_6H_{14}O_6$ olup, birbirinin stereoisomeri olduklarından dolayı fiziksel özellikleri kısmen farklıdır. Sorbitol doğada elma, armut, kayısı gibi meyvelerde yaygın olarak bulunurken; mannitol özellikle zeytin, deniz yosunu ve bazı sebzelerde doğal olarak yer almaktadır.

Sorbitol tatlılık yoğunluğu bakımından sakkarozun yaklaşık % 60'ı düzeyinde bir tat profiline sahiptir ve nötr, temiz bir tat sunar. Mannitol ise daha düşük tatlılık gücüne sahiptir ve sorbitole kıyasla daha zayıf bir tatlılık algısı oluşturur. Her iki polioller de düşük glisemik indeks değerleri nedeniyle metabolik açıdan avantajlıdır. Sorbitol'ün glisemik indeksi yaklaşık 9, mannitol'ün ise 2 civarındadır. Bu nedenle diyabetik bireyler için güvenli kabul edilmekte ve kan şekeri üzerinde minimal etki göstermektedirler. Enerji değerleri teorik olarak 2.4 kcal/g olup, bu yönüyle sakkarozdan daha düşük enerji sağlamaktadırlar.

Her iki poliollerin en belirgin özelliklerinden biri, insan sindirim sisteminde yavaş ve kısmen absorbe olmalarıdır. Sorbitol ince bağırsakta sınırlı oranda absorbe edilirken, mannitol'ün büyük bir kısmı absorplanmadan kolona ulaşmaktadır. Bu özellik, aşırı tüketimde laksatif etki riskini artırmakla birlikte bağırsak mikrobiyotası açısından prebiyotik etki potansiyeli yaratmaktadır. Ayrıca her iki tatlandırıcı da bağışıklık sistemi ve ozmoregülasyon süreçlerinde bazı hücrel mekanizmaları destekleyebilmektedir. Örneğin sorbitol, insan hücrelerinde ozmotik stres yanıtlarının bir parçası olarak metabolik yollar içerisinde yer alabilmektedir.

Kimyasal olarak değerlendirildiğinde, sorbitol higroskopik bir bileşik olup gıda teknolojisinde nem tutucu ajan olarak önemli bir rol oynamaktadır. Mannitol ise kristal yapısı nedeniyle higroskopik değildir. Bu nedenle toz halindeki ürünlerde serbest akış özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Mannitol'ün ısıya dayanıklı yapısı, farmasötik tablet üretiminde tercih edilmesini sağlayan temel faktörlerden biridir.

Güvenlik açısından sorbitol ve mannitol, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından GRAS listesinde yer almakta ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi

tarafından güvenilir polioller arasında değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yüksek miktarda tüketimleri gastrointestinal rahatsızlıklara neden olabileceğinden, ürün etiketlemesi ve tüketici bilgilendirmesi açısından düzenlemelere tabidir.

Genel olarak sorbitol ve mannitol, tatlandırıcı özellikleri, düşük glisemik etkileri ve fonksiyonel davranışlarından dolayı gıda ve sağlık endüstrisinde önemli bileşenler olarak kabul edilmektedir.

9.2. Sorbitol ve Mannitol'ün Tarihsel Gelişimi

Sorbitol ve mannitol'ün tarihsel gelişimi, şeker alkollerinin gıda ve endüstriyel kullanımlarının anlaşılması açısından önemli bir çerçeve sunmaktadır. Sorbitol, ilk kez 1872 yılında Fransız kimyager Jean-Baptiste Boussingault tarafından dağ eriği (*Sorbus aucuparia*) meyvesinde doğal olarak bulunan bir bileşik olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle bileşik, kaynağı olan bitkinin bilimsel adından türetilerek sorbitol şeklinde adlandırılmıştır. Mannitol ise 19. yüzyılın ortalarında Akdeniz bölgesinde yetişen manna kül ağacının salgısında keşfedilmiş ve ismini bu doğal reçine olan "manna"dan almıştır. Her iki şeker alkolünün keşfi, doğal karbonhidratların indirgenmiş formlarının potansiyel kullanım alanlarına yönelik ilk kimyasal incelemeler arasında yer almaktadır.

20. yüzyılın başlarında sorbitol ve mannitol'ün kimyasal yapılarının net olarak tanımlanmasıyla birlikte bu iki polioller, karbonhidrat kimyası araştırmalarının önemli bileşenleri haline gelmiştir. 1920'li ve 1930'lu yıllarda yürütülen çalışmalar, bu bileşiklerin indirgenmiş monosakkaritler olduğunu ve farklı stereoisomerik konfigürasyonları nedeniyle fiziksel özelliklerinin birbirinden ayrıldığını ortaya koymuştur. Bu dönemde özellikle sorbitol'ün su tutma kapasitesi ve higroskopik yapısı, gıda muhafazası ve nem düzenleme alanlarında araştırılmaya başlanmıştır. Mannitol ise kristal yapısının kararlılığı nedeniyle farmasötik tablet üretimi için dikkat çekici bir ingredient haline gelmiştir.

Sorbitol'ün endüstriyel ölçekte üretimi, 1940'lı yıllarda glikozun katalitik hidrojenasyonu ile mümkün hale gelmiş ve bu gelişme sorbitol'ü geniş kullanım alanlarına taşıyan önemli bir dönüm noktası olmuştur. Hidrojenasyon teknolojilerinin gelişmesi, sorbitol'ün daha ekonomik ve yüksek hacimli üretimine olanak sağlamıştır. Bu durum sorbitol'ün tatlandırıcı ve nem tutucu ajan olarak gıda endüstrisine girişini hızlandırmıştır. Mannitol'ün modern üretimi ise fruktozun seçici hidrojenasyonu veya glukoz-fruktoz izomerizasyon süreçleri

ile daha verimli hale gelmiştir. Bu süreçte elde edilen daha saf ve kontrollü ürünler, mannitol'ün farmasötik uygulamalarda dolgu maddesi olarak kullanımını önemli ölçüde artırmıştır.

Sorbitol ve mannitol'ün beslenme ve sağlık alanındaki kullanımını ise özellikle 1970'li yıllardan sonra hız kazanmıştır. Bu dönemde düşük kalorili tatlandırıcıların ve diyabet dostu ürünlerin popüler hale gelmesi, poliollere yönelik bilimsel ve ticari ilgiyi artırmıştır. Sorbitol'ün düşük glisemik yük oluşturması ve kan şekeri üzerinde minimal etkiye sahip olması, onu diyabetik ürünlerde önemli bir tatlandırıcı haline getirmiştir. Aynı şekilde mannitol'ün metabolik olarak yavaş absorplanması ve glisemik indeksinin düşük olması, glisemik kontrol bakımından avantajlı bir bileşen olarak değerlendirilmesine yol açmıştır.

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) ve ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından 2000'li yıllarda yapılan kapsamlı değerlendirmeler sonucunda sorbitol ve mannitol'ün güvenli tatlandırıcılar olduğu kabul edilmiş ve her iki bileşik de GRAS kapsamında sınıflandırılmıştır. Bu düzenlemeler, poliollerin gıda endüstrisindeki kullanımını daha da yaygınlaştırmış ve üretim hacimlerinin küresel ölçekte artmasına katkı sunmuştur.

Günümüzde sorbitol ve mannitol, doğal tatlandırıcılar ve düşük kalorili karbonhidrat alternatifleri konusundaki artan tüketici talepleri ile birlikte fonksiyonel gıda araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Endüstriyel uygulamalardaki çok yönlü işlevsellikleri sayesinde gıda teknolojisi, farmasötik ürün geliştirme ve biyoteknolojik üretim süreçlerinde bu iki poliölün önemi artmaya devam etmektedir.

9.3. Sorbitol ve Mannitol'ün Üretimleri

Sorbitol ve mannitol'ün endüstriyel üretimi hem kimyasal hem de biyoteknolojik süreçlere dayanan yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu iki şeker alkolü, ticari olarak en yaygın kullanılan polioller arasında yer aldığından, üretim teknolojilerinin geliştirilmesi gıda, farmasötik ve kimya sektörleri için önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Sorbitol üretimi günümüzde büyük ölçüde glikozun katalitik hidrojenasyonuna dayanırken; mannitol hem kimyasal yollarla hem de biyoteknolojik dönüşümlerle elde edilebilmektedir. Üretim süreçleri hammadde seçimi, reaksiyon koşulları, katalizör verimliliği ve saflık gereksinimleri bakımından farklılık göstermektedir.

Sorbitol'ün endüstriyel ölçekte üretiminde temel yöntem, glikozun katalitik hidrojenasyonudur. Bu işlemde glikoz çözeltisi yüksek sıcaklık (130–150°C) ve hidrojen basıncı altında nikel veya raney nikel gibi metal katalizörler

eşliğinde indirgenerek sorbitole dönüştürülür. Reaksiyon oldukça verimli olup, endüstriyel hatlarda ağırlıklı olarak %90'ın üzerinde dönüşüm oranı sağlanabilmektedir. Hidrojenasyon sonrasında oluşan karışım filtrasyon, iyon değişimi ve kristalizasyon aşamalarından geçirilerek yüksek saflıkta sorbitol çözeltisi veya kristal sorbitol elde edilir. Sorbitol'ün kimyasal üretimi, glikozun mısır nişastası veya buğday nişastasından ekonomik şekilde elde edilebildiği ülkelerde, yıllık büyük hacimlerle gerçekleştirilmektedir.

Mannitol üretimi ise kimyasal olarak daha zorlu bir süreçtir. Çünkü fruktozun hidrojenasyonu sırasında sorbitol ve mannitol karışımı oluşur ve stereokimyasal ayırım gereklidir. Endüstriyel üretimde fruktoz, nikel veya rutenyum katalizörleri kullanılarak hidrojenasyona tabi tutulur ve elde edilen sorbitol-mannitol karışımı kromatografik yöntemlerle ayrılır. Bu süreç pahalı ve kompleks olduğu için mannitol'ün tek üretim yöntemi olarak kimyasal yöntem kullanılmamaktadır. Alternatif olarak fruktoz içeren invert şeker şurupları veya yüksek fruktozlu mısır şurupları (HFCS), mannitol üretiminde yaygın olarak kullanılan hammaddelerdir.

Biyoteknolojik yaklaşımlar mannitol üretiminde giderek daha fazla araştırılmaktadır. Özellikle *Lactobacillus*, *Leuconostoc* ve *Candida* türleri, fruktozu mannitol'e dönüştürme kapasitesine sahiptir. Bu mikroorganizmalar fruktozu enzimatik olarak indirgerken yüksek seçicilik gösterebilmektedir. Bu durum kimyasal yöntemde ortaya çıkan karışım sorununu ortadan kaldırmaktadır. Mikrobiyal üretim atmosferik basınç altında ve daha düşük enerji gereksinimiyle gerçekleştirildiği için, çevresel açıdan daha avantajlıdır. Ancak verimin suş seçimine ve besi ortamı koşullarına bağlı olması, üretim optimizasyonunu kaçınılmaz kılmaktadır.

Sorbitol'ün biyoteknolojik üretimi kimyasal üretimi kadar yaygın olmasa da, bazı maya ve bakteri türleriyle glikozdan sorbitol üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak bu yöntem endüstriyel ölçeğe kıyasla daha düşük verim sunduğundan, ticari kullanım alanı sınırlıdır. Buna karşın sürdürülebilir biyoteknolojik üretim yöntemlerine yönelik araştırmalar, özellikle tarımsal atıkların değerlendirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Genel olarak, sorbitol'ün kimyasal hidrojenasyon yöntemi ekonomik ve yüksek verimli olduğu için hâlen en yaygın üretim tekniğidir. Mannitol ise hem kimyasal hem de biyoteknolojik yöntemlerle üretilmesine rağmen mikrobiyal süreçler seçicilik avantajı nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Üretim teknolojilerindeki gelişmeler, her iki poliölün de daha düşük maliyetle ve daha sürdürülebilir yöntemlerle elde edilmesini mümkün kılmakta ve bu bileşiklerin endüstrideki kullanımını genişletmektedir.

9.4. Sorbitol ve Mannitol'ün Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Sorbitol ve mannitol, benzer moleküler formüllere sahip olmalarına rağmen fizikokimyasal davranışları ve organoleptik özellikleri bakımından belirgin farklılıklar göstermektedir. Her iki bileşik de oda sıcaklığında beyaz, kristal yapıda ve kokusuz polioller olup, suda çözünürlükleri, higroskopiklik seviyeleri, tat profilleri ve ısıl davranışları ürün formülasyonlarında kullanım şekillerini doğrudan etkilemektedir.

Sorbitol yüksek çözünürlüğe sahip bir polioldür ve 25°C'de yaklaşık 235 g/L seviyesinde suda çözünebilir. Bu yüksek çözünürlük, özellikle şuruplar, sıvı tatlandırıcılar ve nem içeriği yüksek gıdalar için sorbitol'ün uygun bir bileşen olmasını sağlamaktadır. Mannitol'ün çözünürlüğü ise sorbitol'e kıyasla daha düşüktür; 25°C'de suda yaklaşık 180 g/L çözünür. Bu fark, moleküllerin stereoizomerik yapısından kaynaklanmakta ve mannitol'ün kristal şeklinde ve daha düz yapılu bir form oluşturmasına yol açmaktadır. Sorbitol'ün yüksek çözünürlüğü, ağızda daha hızlı tatlılık hissi oluşmasına neden olurken, mannitol'ün çözünürlüğünün daha düşük olması tatlılık algısının daha geç ve daha zayıf ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Higroskopik özelliği açısından iki bileşik arasında belirgin bir fark bulunmaktadır. Sorbitol oldukça higroskopiktir. Bu nedenle su absorplama kapasitesi yüksektir ve gıda ürünlerinde nem tutucu ajan olarak kullanılabilir. Bu özellik fırıncılık ürünlerinde bayatlamayı geciktirirken, sakız ve şekerlemelerde yumuşak bir doku elde edilmesine olanak tanır. Mannitol ise higroskopik değildir ve nem çekmeyen kristal yapısı sayesinde özellikle toz formülasyonlarda topaklanmayı önlemek ve serbest akışkanlık sağlamak için tercih edilmektedir. Bu nedenle toz karışımlar, tabletler ve efervesan ürünlerde mannitol yaygın olarak kullanılmaktadır.

Termal davranış bakımından sorbitol, ısıya karşı nispeten dayanıklı olmakla birlikte 95–100°C üzerinde yavaş yavaş bozulmaya başlamaktadır. Mannitol'ün erime noktası sorbitol'e göre daha yüksektir (yaklaşık 166–168°C). Bu nedenle ısıl işlem gerektiren farmasötik formülasyonlarda ve tablet sıkıştırımda daha stabil bir yapı sunmaktadır. Mannitol'ün yüksek erime noktası ve kristalizasyon kararlılığı, tabletlerin sertliğini artırırken; çiğneme tabletlerinde homojen bir doku elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

Organoleptik açıdan değerlendirildiğinde sorbitol, sakkarozun tatlılık gücünün yaklaşık % 60'ına sahip olup temiz, nötr bir tat profili ile tüketici kabulü

yüksek bir tatlandırıcıdır. Mannitol'un tatlılık düzeyi sorbitol'e kıyasla daha düşüktür (yaklaşık % 50). Ancak ağızda belirgin bir ferahlatıcı etki oluşturur. Bu ferahlatıcı his, mannitol'un endotermik çözünme davranışından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde sorbitol de çözünme sırasında hafif endotermik etki gösterebilir. Ancak mannitol'un soğutucu etkisi daha belirgindir. Bu nedenle mannitol özellikle naneli sakız ve pastillerde tercih edilen bir tatlandırıcıdır.

Sorbitol'un viskozite artırıcı etkisi de birçok gıda formülasyonuna işlevsellik sağlamaktadır. Özellikle sorbitol şurubu, düşük higroskopik ürünlerde nem dengesini iyileştirmek amacıyla kullanılabilir. Mannitol ise kristal yapısı nedeniyle su aktivitesini azaltmada sorbitol'e göre daha sınırlı rol oynamaktadır. Bununla birlikte, mannitol'un kristalizasyon eğilimi, çikolata kaplamalarında yağ çiçeklenmesini azaltmak ve daha parlak bir yüzey elde etmek için avantajlı bir özellik olarak değerlendirilmektedir.

Genel olarak sorbitol ve mannitol'un fizikokimyasal ve organoleptik özellikleri, farklı endüstriyel uygulamalara uygunluk sağlamaktadır. Sorbitol yüksek çözünürlüğü, tatlılık gücü ve higroskopik yapısı nedeniyle sıvı veya nemli ürünlerde tercih edilirken; mannitol düşük higroskopikliği, kristal kararlılığı ve ferahlatıcı ağız hissi nedeniyle toz formülasyonlar ve çiğneme tabletleri gibi katı ürünlerde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu özellikler, her iki poliölü de gıda ve farmasötik endüstrisinin çok yönlü bileşenleri haline getirmektedir.

9.5. Sorbitol ve Mannitol'un Kullanım Alanları

Sorbitol ve mannitol, fizikokimyasal özellikleri, tat profilleri ve metabolik davranışları nedeniyle gıda, farmasötik ve kozmetik endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahip iki önemli polioldür. Her iki bileşik de düşük kalorili yapıları, nispeten düşük glisemik etkileri ve teknolojik işlevsellikleri sayesinde günümüzde çok çeşitli ürünlerde tatlandırıcı, nem tutucu, dolgu maddesi ve stabilizatör olarak değerlendirilmektedir.

Gıda endüstrisi sorbitol'un en yoğun şekilde kullanıldığı alanlardan biridir. Sorbitol, higroskopik yapısı nedeniyle fırıncılık ürünlerinde nem retansiyonu sağlayarak bayatlamayı geciktirmekte; şekerlemelerde yumuşak bir doku oluşturmada ve ürünün raf ömrünün uzamasına katkı sağlamaktadır. Şurup formunda ise soslar, dondurmalar ve içeceklerde viskoziteyi artırmak amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Düşük kalorili ve diyabetik ürünlerde tercih edilen bir tatlandırıcıdır. Ayrıca donma noktası düşürücü etkisi nedeniyle dondurulmuş ürünlerde buz kristallerinin kontrolünde fonksiyonel bir rol oynamaktadır.

Mannitol'ün gıda endüstrisindeki kullanım alanı daha çok toz ve kristal formülasyonlar üzerinedir. Higroskopik olmaması, toz ürünlerde topaklanmayı önleme kapasitesi ve serbest akışkanlık sağlaması nedeniyle pudra kaplamalar, toz içecek karışımları ve kaplama ürünlerinde tercih edilmektedir. Ayrıca ferahlatıcı soğuk etkisi nedeniyle naneli sakızlar ve pastiller mannitol'ün yaygın kullanım alanları arasındadır. Mannitol'ün düşük su aktivitesi, çikolata kaplamalarda yağ çiçeklenmesini azaltması ve daha parlak bir yüzey elde edilmesini sağlaması bakımından endüstriyel avantaj sunmaktadır.

Farmasötik sektörü sorbitol ve mannitol'ün en önemli ticari kullanım alanlarından biridir. Sorbitol, şuruplar ve oral süspansiyonlarda tat düzeltici ve hacim artırıcı olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Şeker içermeyen ilaç formülasyonlarında, özellikle çocuk ve diyabetik hastalara yönelik ürünlerde sorbitol önemli bir tatlandırıcı alternatifidir. Ayrıca sorbitol'ün viskozite artırıcı etkisi, topikal ürünlerde ve jel formülasyonlarda stabilite sağlamaktadır. Mannitol ise farmasötik tabletlerde dolgu maddesi olarak en çok kullanılan poliollerden biridir. Sıkıştırma sırasında iyi akış özelliği göstermesi, yüksek kristal kararlılığına sahip olması ve tablet sertliğini artırması nedeniyle çiğneme tabletleri ve ağızda çözünen tabletlerde temel bileşen olarak değerlendirilmektedir. Mannitol aynı zamanda enjeksiyon çözeltilerinde ozmotik denge sağlamak amacıyla intravenöz formülasyonlarda kullanılmaktadır.

Tıbbi uygulamalarda mannitol'ün özel bir yeri bulunmaktadır. Özellikle intrakraniyal basıncın düşürülmesinde osmotik diüretik olarak intravenöz mannitol kullanımı yaygın bir tedavi yöntemidir. Mannitol, plazma ozmolalitesini artırarak suyun hücre dışına çekilmesini sağlamakta ve böylece beyin ödemi azaltmaktadır. Bu uygulama nörolojik travma, beyin cerrahisi ve akut glokom gibi durumlarda klinik olarak önemli bir tedavi seçeneği sunmaktadır. Sorbitol ise tıbbi anlamda daha çok laksatif etki amacıyla oral çözeltilerde kullanılabilir. Kolon içinde su absorplayarak fekal yumuşama sağlamakta ve kısa süreli kabızlık tedavisinde değerlendirilmektedir.

Kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde sorbitol, nem tutucu ve nem bariyeri güçlendirici özellikleri sayesinde krem, losyon, şampuan ve diş macunu gibi ürünlerde sıklıkla tercih edilmektedir. Su bağlama kapasitesi, ürünlerin kurumasını önleyerek istenen kıvam ve nem dengesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Mannitol ise antioksidan ve serbest radikal temizleyici özellikleri nedeniyle cilt bakım ürünlerinde stabilizatör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca partikül yapısı nedeniyle peeling ürünlerinde hafif abrazyon sağlayıcı bileşen olarak da değerlendirilebilmektedir.

Genel olarak sorbitol ve mannitol, fonksiyonel özellikleri nedeniyle modern gıda teknolojisi, farmasötik formülasyonlar ve kozmetik ürün geliştirme süreçlerinde çok yönlü bileşenler olarak önemli yer tutmaktadır. Her iki poliolün kullanım alanlarının genişlemesi, üretim teknolojilerindeki gelişmeler ve doğal kaynaklı tatlandırıcılara olan tüketici talebinin artmasıyla birlikte gelecekte daha da yaygın kullanımının mümkün olacağı öngörülmektedir.

9.6. Sonuç

Sorbitol ve mannitol modern gıda, farmasötik ve kozmetik endüstrilerinin çok yönlü olarak değerlendirdiği ve eşsiz fonksiyonel özelliklere sahip iki önemli polioldür. Altı karbonlu şeker alkollerinin stereoizomerleri olarak bu bileşikler, hem doğal gıdalarda bulunmaları hem de endüstriyel üretimle geniş hacimlerde elde edilebilmeleri nedeniyle ticari açıdan önemli tatlandırıcı alternatifleri arasında yer almaktadır. Özellikle düşük glisemik indeks değerleri, alternatif tatlandırıcı arayışında sorbitol ve mannitol'ün güvenilir seçenekler olarak öne çıkmasına olanak sağlamıştır.

Fizikokimyasal özellikleri değerlendirildiğinde sorbitol'ün yüksek çözünürlüğü ve belirgin higroskopik yapısı, nem dengesinin kritik olduğu gıda ürünlerinde stabiliteyi artırmakta ve ürün kalitesini korumaktadır. Mannitol ise düşük higroskopikliği ve kristal kararlılığı sayesinde toz ürünlerde serbest akışkanlık, çikolata kaplamalarda yüzey kalitesi ve farmasötik tablet üretiminde yapısal dayanım sağlamaktadır. Her iki poliolün de tatlılık profili sakkaroza göre daha düşük olmakla birlikte, duyuusal açıdan temiz, yan tat bırakmayan bir karakter sunmaları ürün geliştirme açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

Üretim süreçleri incelendiğinde sorbitol'ün ticari ölçekte büyük oranda glikozun katalitik hidrojenasyonu ile elde edildiği, mannitol'ün ise hem kimyasal hem de mikrobiyal yollarla üretilbildiği görülmektedir. Mikrobiyal mannitol üretimi, fruktozu yüksek seçicilikle mannitol'e dönüştürebilen mikroorganizmalar sayesinde sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmakta ve son yıllarda endüstriyel potansiyeli giderek artmaktadır. Bu yönüyle poliol üretiminde biyoteknolojik yaklaşımların gelişimi, geleceğe dönük önemli bir araştırma alanı olmaktadır.

Sorbitol ve mannitol'ün kullanım alanları oldukça geniştir. Gıda ürünlerinde tatlandırıcı, nem tutucu, doku geliştirici ve stabilizatör olarak değerlendirilmeleri, her iki bileşiğin endüstriyel formülasyonlarda çok yönlülük sağlamasının temel nedenlerindedir. Farmasötik uygulamalarda sorbitol, sıvı ilaç formülasyonlarında tat düzeltici ve viskozite düzenleyici olarak yaygın

kullanılırken; mannitol, özellikle tablet formülasyonlarında dolgu maddesi olarak vazgeçilmez bir yardımcı bileşen haline gelmiştir. Ayrıca mannitol'un tıpta ozmotik diüretik olarak klinik kullanımı, bu bileşiğin endüstriyel değerini bir adım öteye taşımaktadır. Kozmetik uygulamalarda ise sorbitol'un nem tutma kapasitesi, kişisel bakım ürünlerinde stabilite ve nem dengesini desteklemekte; mannitol ise antioksidan özellikleri sayesinde formülasyonların korunmasına katkıda bulunmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde sorbitol ve mannitol, fonksiyonel gıda bileşenleri, farmasötik yardımcı maddeler ve özel amaçlı endüstriyel materyaller olarak geniş kullanım olanakları sunmaktadır. Üretim teknolojilerinin gelişmesi, doğal tatlandırıcılara yönelik artan tüketici talebi ve sürdürülebilir üretim yöntemlerine gösterilen ilgi, her iki poliölün de gelecekte daha geniş uygulama alanları bulacağını göstermektedir. Bu çerçevede sorbitol ve mannitol fonksiyonellikleri, güvenlik profilleri ve geniş endüstriyel adaptasyonları ile gıda ve sağlık teknolojilerinde stratejik öneme sahip bileşenler olarak değerlendirilmeye devam edecektir.

10. SUKRALOZ

10.1. Sukraloz'un Tanımı

Sukraloz, yoğun tatlandırıcılar sınıfına dahil edilen, tatlılık gücü sakkarozla oranla çok daha yüksek olan ve metabolik enerji içermeyen bir gıda katkı maddesidir. Kimyasal olarak sakkarozun üç hidroksil grubunun klor atomları ile yer değiştirmesi sonucu oluşan trikloro galaktosakkaroz türevi olup, bu yapısal dönüşüm bileşiğin hem tatlılık gücünü hem de fizyolojik kararlılığını belirleyen temel özelliklerden biridir. Yapılan çalışmalar, sukraloz'un tatlılık yoğunluğunun sakkarozla göre yaklaşık 600 kat fazla olduğunu, buna karşın insan vücudu tarafından metabolize edilmediği için kalori yükü oluşturmadığını göstermektedir. Bu nedenle sukraloz, gıda ürünlerinde tatlılık sağlamak amacıyla çok düşük dozlarda kullanılabilmekte ve enerji alımını artırmadan duyuşal tatlılık sağlayan bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Duyusal açıdan ele alındığında sukraloz, tat profili doğal şekerle en çok benzeyen sentetik tatlandırıcılardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu durumun arkasında, bileşiğin tat algısında görev alan reseptör yapıları ile yüksek afinite göstermesi yatmaktadır. İnsan tat sisteminde tatlılığı algılayan T1R2 ve T1R3 alt birimlerinden oluşan reseptör kompleksi ile molekül arasında güçlü etkileşim bulunmakta ve bu etkileşim hem tatlılık algısının hızlı başlamasına hem de uzun

süre devam etmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle sukraloz içeren ürünlerde, tatlılık algısı geç gelişen ya da kısa süreli kalan diğer yapay tatlandırıcılara kıyasla daha homojen ve dengeli bir duyuşsal profil ortaya çıkmaktadır. Çalışmalarda sukraloz'un acı tat, metalik tat veya kimyasal lezzet bırakma olasılığının oldukça düşük olduğu bildirilmiştir. Bu özellikler, bileşiğın tüketici kabulünü artıran temel faktörler arasında gösterilmiştir.

Sukraloz'un vücutta enerjiye dönüştürülmemesinin nedeni, kimyasal bağlarının sindirim sisteminde parçalanmaya dirençli olmasıdır. Molekülde yer alan klor ikameli karbon bağları, enzimatik hidrolize karşı oldukça stabil olduğundan bağırsak enzimleri tarafından tanınmamakta ve metabolize edilmemektedir. Bu nedenle sukraloz'un çok küçük bir bölümü bağırsaklardan emilmekte, emilen kısmı ise biyolojik dönüşüme uğramadan idrarla atılmaktadır. Bu özelliğı bileşiğın glisemik yük oluşturmamasını sağlayarak diyabetik ürün formülasyonlarında tercih edilmesine olanak tanımaktadır. Nitekim sukraloz'un kan glukoz düzeyi, insülin salınımı veya glisemik yanıt üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı çeşitli klinik araştırmalarda ortaya konulmuştur.

Sukraloz'un endüstriyel önemi, tatlılık gücünün yüksek olmasının yanı sıra farklı gıda sistemleri içinde kimyasal ve duyuşsal kararlılık gösterebilmesi ile ilişkilidir. Asitlik toleransı geniş olan bileşik, düşük ve yüksek pH koşullarında bozulmadan kalabilmektedir. Ayrıca ısıya karşı yüksek stabilite göstermesi sayesinde fırıncılık ürünleri, sıcak içecekler ve pastörize süt ürünleri gibi termal işlem gerektiren sistemlerde kullanıma uygun olmaktadır. Yapılan çalışmalar, sukraloz'un pişirme, pastörizasyon veya sterilizasyon proseslerinde tat kaybına uğramadığını, moleküler yapısını koruduğunu ve duyuşsal bütünlüğünü devam ettirdiğini göstermektedir. Bu nedenle bileşik, diğer bazı yoğun tatlandırıcılarla kıyaslandığında işleme dayanımı açısından daha avantajlı olarak değerlendirilmektedir.

Gıda mühendisliğı perspektifinden bakıldığında, sukraloz'un tat profili ve termal dayanımı, ürün tasarımında önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle içecek sektörü, sakız ve şekerleme ürünleri, meyve bazlı içecekler, süt ürünleri ve masaüstü tatlandırıcı preparatlarında bileşiğın kullanımı oldukça yaygındır. Düşük kullanım oranlarında bile güçlü tatlılık sağlaması, formülasyon maliyetlerini azaltmakta ve ürün etiketlerinde düşük enerji değerlerinin korunmasına olanak tanımaktadır. Bu özellikler, artan düşük kalorili ürün talebi ve sağlıklı beslenme trendleri ile birleştiğinde, sukraloz'u modern gıda sistemlerinin dikkat çekici bileşenlerinden biri haline getirmiştir.

Genel olarak sukraloz, kimyasal yapısı, metabolik inertliğı, duyuşsal üstünlüğü ve işlem dayanımı nedeniyle gıda endüstrisinde önemli bir tatlandırıcı

olarak konumlanmaktadır. Şekere yakın lezzet profili ve düşük kullanım sınırı, bileşiğin endüstriyel değerini artırmaktadır. Metabolize edilmemesi ise düşük enerjili ve diyabetik diyete uygun ürünlerde yer bulmasını sağlamaktadır. Bu yönleriyle sukraloz, tatlandırıcı sınıfındaki diğer bileşiklerden ayrılan özgün bir karaktere sahiptir ve tüketici talepleri doğrultusunda kullanım alanı giderek genişlemektedir.

10.2. Sukraloz'un Tarihsel Gelişimi

Sukraloz'un keşfi, tatlandırıcıların endüstriyel evriminde dikkat çekici bir dönüm noktasıdır. Molekül ilk kez, 1976 yılında İngiltere'de Tate & Lyle'nın araştırma merkezinde sakkaroz türevleri üzerine yürütülen çalışmalar sırasında tesadüfen tanımlanmıştır. Araştırma ekibinin sakkaroz üzerinde klorlama reaksiyonları yürüttüğü sırada, sentezlenen ara ürünlerden birinin yüksek tatlılık gösterdiğinin fark edilmesi, sukraloz'un potansiyel bir tatlandırıcı olarak değerlendirilmesine zemin hazırlamıştır. Bu keşif, sakkaroz türevlerinden yüksek tatlılık elde etmeyi hedefleyen kimyasal modifikasyon çalışmalarının en başarılı örneklerinden biri olarak literatüre geçmiştir. Keşfin ardından sukraloz'un güvenlik profili ve fizyolojik etkilerini belirlemeye yönelik kapsamlı toksikolojik çalışmalar başlamıştır. Magnuson ve çalışma arkadaşlarının aktardığı üzere, bileşik 1980'li yıllar boyunca akut toksisite, kanserojenite, teratojenite, nörotoksisite ve immünolojik etkiler açısından farklı hayvan modellerinde test edilmiş ve herhangi bir olumsuz biyolojik yanıt göstermemiştir. Bu bulgular, düzenleyici otoritelerin bileşiği değerlendirmeye başlamasında önemli rol oynamıştır.

1991 yılı, sukraloz'un ticari tarihindeki ilk resmi onay dönemi olarak öne çıkmaktadır. Kanada Sağlık Bakanlığı bu yıl içerisinde bileşiğin gıda katkı maddesi olarak kullanımına izin vermiş ve bu karar uluslararası pazarda önemli bir referans olmuştur. Kanada'yı kısa süre içerisinde Avustralya ve Yeni Zelanda takip etmiş ve bu ülkelerde yürütülen güvenlik değerlendirmeleri de bileşiğin gıda ürünlerinde güvenle kullanılabilceği sonucunu desteklemiştir. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi ise 1998 yılında sukraloz'u 15 farklı gıda kategorisinde kullanım için onaylamış ve iki yıl sonra onayı tüm gıda ürünlerini kapsayacak şekilde genişletmiştir. Bu genişleme, sukraloz'un küresel pazarda görünürlüğünü artırmış ve özellikle düşük enerjili ürün segmentinde tercih edilir hale gelmesini sağlamıştır. Avrupa Birliği'nin düzenleyici kurumu olan EFSA ise 2004 yılında bileşiği kapsamlı biçimde değerlendirmiş ve toksikolojik veri seti doğrultusunda kabul edilebilir günlük alım miktarını vücut ağırlığı başına 15 mg olarak tanımlamıştır.

Sukraloz'un tarihsel gelişimi yalnızca düzenleyici süreçlerle sınırlı kalmamıştır. Akademik araştırmalar da bu dönemde yoğunlaşmıştır. Renwick (2008), sukraloz'un metabolik olarak inertliğinin kimyasal yapısıyla ilişkili olduğunu ortaya koyarken; Roberts ve ark (2000), bileşiğin insan ve hayvan çalışmalarında biyolojik birikim göstermediğini ve değişmeden vücuttan atıldığını bildirmiştir. Aynı dönem içerisinde yürütülen duyu analizi çalışmaları ise sukraloz'un tat profilinin doğal şekere en yakın yapay tatlandırıcı olduğuna işaret etmiştir. Bu sonuç bileşiğin pazardaki kabulünü hızlandırmıştır. 2000'li yıllardan itibaren sukraloz'un popülerleşmesi, tatlandırıcı pazarının dinamiklerini değiştirmiştir. Şeker tüketiminin sağlık üzerindeki etkilerine yönelik farkındalık arttıkça, sukraloz düşük kalorili ürünlerden sporcu gıdalarına, içecek sektöründen masaüstü tatlandırıcılara kadar geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu dönemde mikrobiyota üzerine etkileri tartışılmaya başlanmış olsa da, uluslararası regülasyon kurumları bileşiğin mevcut kullanım düzeylerinde güvenli olduğuna ilişkin yargılarını korumuştur.

Günümüzde sukraloz, tarihsel gelişimi açısından tatlandırıcı kimyasının önemli bir örneği olarak görülmektedir. Şeker azaltımı ve sağlıklı beslenme trendleri doğrultusunda endüstrideki yerini korumaktadır. Onaylandığı ilk günden bu yana kapsamlı güvenlik değerlendirmeleri, metabolik araştırmalar ve formülasyon çalışmaları sonucunda bileşiğin gıda sistemlerindeki kullanımını desteklemiştir. Düşük kalorili beslenme yaklaşımlarının yaygınlaştığı çağdaş tüketim kültürüyle birlikte sukraloz'un kullanım alanlarının genişlemeye devam edeceği düşünülmektedir.

10.3. Sukraloz'un Üretimi

Sukraloz'un endüstriyel üretimi, sakkarozun kontrollü kimyasal modifikasyonuna dayanan çok basamaklı bir süreçtir. Bu süreçte sakkaroz molekülündeki belirli hidroksil gruplarının selektif biçimde klor atomlarıyla değiştirilmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm, tatlılık algısından sorumlu molekül bölgelerini korurken metabolizma tarafından tanınmasını sağlayan yapıların değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Tate & Lyle tarafından geliştirilen patentli üretim modeli, bu modifikasyonu sağlayan en temel endüstriyel yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

Sukraloz üretiminde ilk basamak, sakkaroz molekülünün korunması gereken bölümlerini stabilize eden koruyucu grupların eklenmesidir. Bu işlem, molekül üzerinde reaksiyon seçiciliğini artırmakta ve yalnızca hedeflenen pozisyonlarda klorlama reaksiyonlarının gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Ardından organik klorlama aşaması uygulanmakta ve sakkarozun üç hidroksil grubunun uygun pozisyonlarda klor atomları ile yer değiştirmesi sağlanmaktadır. Bu aşama üretimin en kritik bölümünü oluşturur. Çünkü istenmeyen klorlama ürünlerinin oluşmaması için reaksiyon koşullarının yüksek seçicilikle yönetilmesi gerekmektedir.

Klorlama sonrasında kullanılan koruyucu gruplar kontrollü olarak uzaklaştırılmakta ve molekül saflaştırma işlemine alınmaktadır. Saflaştırma basamağı reaksiyon yan ürünlerinin, klor içeren ara bileşiklerin ve ağır metal katalizörlerinin uzaklaştırılması açısından önem taşımaktadır. Üretim sürecinin bu bölümünde iyon değiştirme kromatografisi, adsorpsiyon ve kristalizasyon teknikleri gibi farklı saflaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu işlemler sonunda elde edilen ürün, gıda kalite standartlarına uygun saflığa ulaşmaktadır. Sukraloz'un endüstriyel ölçekli üretiminde, ürün stabilitesi ve raf ömrü de önemli parametreler arasında yer almaktadır. Üretim sonrası su aktivitesinin azalması, kristal yapı bütünlüğünün korunması ve mikrobiyal gelişime karşı güvenli ürün tasarımı için kurutma, granülasyon veya kapsülleme teknikleri kullanılmaktadır. Özellikle içecek tozları, tablet tatlandırıcılar ve şekerleme ürünleri için stabil partiküler formda sukraloz elde edilmesi, formülasyon etkinliğini ve duyuusal performansı artırmaktadır.

Bununla birlikte sukraloz çoğu zaman tek başına değil, genellikle taşıyıcı maddeler veya dolgu ajanları ile birleştirilerek ticari ürün haline getirilmektedir. Maltodekstrin, eritritol veya dekstroz gibi taşıyıcılarla karıştırılması, bileşiğin dozaj kontrolünü kolaylaştırmakta ve tüketicinin ürünü masaüstü tatlandırıcı olarak kullanımını mümkün kılmaktadır. Ayrıca bazı ürünlerde duyuusal profilin iyileştirilmesi amacıyla sukraloz, asesülfam-k veya eritritol gibi diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanılmaktadır. Bu kombinasyonlar hem maskeleyici etkisi sağlamak hem de şeker benzeri tat bütünlüğünü artırmaktadır.

Günümüzde dünya genelinde sukraloz üretimi, sınırlı sayıda patentli teknolojiye dayanmaktadır. Tate & Lyle'in üretim modeli en yaygın kullanılan sistem olup, Çin'de ve Avrupa'da benzer prosesler üzerine geliştirilen alternatif teknolojiler de bulunmaktadır. Ancak her durumda üretim maliyetinin nispeten yüksek olması, sukraloz'un tatlandırıcı pazarındaki fiyatını diğer birçok sentetik tatlandırıcıdan daha yukarıda konumlandırmaktadır. Buna rağmen düşük kullanım seviyeleri ve artan tüketici talebi, bileşiğin ticari değerinin korunmasını sağlayan başlıca etmenlerdir. Genel olarak sukraloz üretimi, yalnızca kimyasal modifikasyonla sınırlı olmayan, seçici reaksiyon mühendisliği, saflaştırma teknikleri, ürün stabilizasyonu ve duyuusal beklentileri içeren ileri düzey bir gıda

kimyası sürecidir. Üretim teknolojileri geliştikçe sukraloz daha yüksek saflık seviyelerinde, daha düşük üretim maliyetleriyle ve daha geniş gıda sistemlerinde kullanımı uygun olacak şekilde erişilebilir hale gelecektir.

10.4. Sukraloz'un Fizikokimyasal ve Organoleptik Özellikleri

Sukraloz, yoğun tatlandırıcılar arasında hem kimyasal kararlılığı hem de duyusal performansı bakımından öne çıkan bir bileşiktir. Molekülün yapısında sakkarozun üç hidroksil grubunun klor ile yer değiştirmesi, karbon klor bağlarının hidrolize karşı dirençli olması ve molekülün polar karakterinin azalması gibi yapısal değişikliklere neden olmaktadır. Bu kimyasal dönüşüm, sukraloz'un metabolik olarak inert olmasının yanı sıra fiziksel ve kimyasal koşullara karşı dayanıklılığını da belirleyen temel faktörlerdendir. Karbon-klor bağlarının yüksek bağ enerjisi nedeniyle bileşik düşük pH seviyelerinde, ısıtma işlemlerinde veya ışığa maruz kaldığında kolayca parçalanmamakta ve gıda sistemleri içinde istikrarlı biçimde varlığını sürdürebilmektedir.

Termal kararlılığı, sukraloz'un gıda endüstrisindeki kullanımını artıran başlıca özelliklerden birisidir. Çeşitli çalışmalar, bileşiğin 120°C sıcaklıklara kadar duyusal ve kimyasal yapısını kaybetmeden dayanabildiğini bildirmektedir. Bu nedenle pastörizasyon, sterilizasyon ve fırıncılık işlemlerine uygun bir tatlandırıcı olduğu belirtilmiştir. Özellikle aspartam gibi belirli bir sıcaklığın üzerinde bozulma eğilimi gösteren yapay tatlandırıcılarla karşılaştırıldığında, sukraloz'un bu özelliği önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bileşik, pişirilerek hazırlanan ürünlerde, sıcak içeceklerde ve uzun raf ömrü gerektiren uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Sukraloz ayrıca geniş bir pH aralığında kararlılık gösteren nadir tatlandırıcılardan biridir. Roberts, Renwick ve Sims (2000), bileşiğin asidik ortamlarda yapısını koruduğunu ve asitli içeceklerin ısıtma işlem görmesine veya uzun süre depolanmasına rağmen tat bütünlüğünü sürdürdüğünü raporlamıştır. Bu özellik, gazlı içecekler, sporcu içecekleri ve meyve bazlı içeceklerde kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanında sukraloz'un oksidasyon ve hidroliz reaksiyonlarına karşı dirençli olması, depolama koşullarında renk değişimi, koku bozulması veya tat kaybı gibi istenmeyen etkilerin oluşmasını engellemektedir.

Organoleptik açıdan değerlendirildiğinde sukraloz, tüketici kabulü yüksek olan bir tat profili sergilemektedir. Bileşiğin tatlılık algısı hızlı başlamakta ve şeker benzeri yuvarlak bir tat duyumu sağlamakta ve acı ya da metalik tat oluşturmadan uzun süre algılanabilmektedir. DuBois (2012), bu durumun tat

reseptörleri ile molekül arasındaki etkileşim süresinin uzaması ve reseptör aktivasyonunun stabil olması ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle özellikle diyet içeceklerde, sakızlarda, süt ürünlerinde ve masaüstü tatlandırıcı olarak sukraloz'un kullanımı duyuşal açıdan tercih sebebidir. Ayrıca bileşimin tat karakterinin diğer yoğun tatlandırıcılara kıyasla şekerle daha uyumlu olması, karışım formülasyonlarında tat dengeleme amacıyla kullanılmasını kolaylaştırmaktadır.

Tat profilinin şekere yakın olması, sukraloz'u diğer tatlandırıcılarla birlikte kullanmaya elverişli hale getirmektedir. Bu özellik, bazı gıda sistemlerinde tat profilini iyileştirmek veya düşük kullanım seviyelerini optimize etmek amacıyla asesülfam-k, eritritol veya steviol glikozitleri ile kombine edilmesine olanak tanımaktadır. Bu tür kombinasyonlar, hem istenmeyen tatların bastırılmasını sağlamakta hem de daha yüksek tatlılık dayanımı ile duyuşal performansı artırmaktadır. Ayrıca bileşimin kristal formda üretilmesi, higroskopik olmayan yapıya sahip olması ve su aktivitesi düşük formülasyonlarda stabil kalabilmesi, toz içecek karışımları veya diyet tatlandırıcı tabletler gibi uygulamalarda kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Genel olarak sukraloz, kimyasal modifikasyonun duyuşal sistem ile uyumlu hale getirildiği nadir tatlandırıcı örneklerinden biridir. Termal ve pH dayanımının yüksek olması, aromatik bileşenlerle etkileşiminin sınırlı olması ve şeker benzeri tat karakteri, bileşimin gıda bilimi ve ürün tasarımında geniş uygulama alanı bulmasını sağlamaktadır. Bu nedenle sukraloz, yalnızca kalorisiz tatlandırıcı olarak değil; aynı zamanda duyuşal kaliteyi artıran ve gıda sistemlerinin teknolojik gerekliliklerine uyum sağlayan fonksiyonel bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.

10.5. Sukraloz'un Kullanım Alanları

Sukraloz, yüksek tatlılık gücü, düşük kullanım sınırı, işlem stabilitesi ve doğal şekere yakın tat profili nedeniyle gıda endüstrisinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Özellikle kalorisiz ürünler, diyet içecekler, şeker ilavesiz ürün segmenti ve fonksiyonel gıdalar, bu tatlandırıcının yaygın biçimde değerlendirildiği kategoriler olarak öne çıkmaktadır. Bileşimin şeker benzeri duyuşal bütünlüğü, tüketici kabulü açısından önemli avantaj sağlamaktadır. Nitekim farklı nüfus grupları üzerine yapılan tüketici araştırmalarında, sukraloz'un lezzet açısından diğer yoğun tatlandırıcılara göre daha yüksek beğeni skorları elde ettiği bildirilmiştir.

İçecek endüstrisi, sukraloz kullanımının en yaygın olduğu alanlardan biridir. Gazlı içecekler, sporcu içecekleri ve meyve bazlı içeceklerde tatlılık

sağlamak amacıyla sıklıkla kullanılan bileşik, asidik ortamda kararlı olması ve ısıtılı işlemlere dayanıklı olması nedeniyle ürün formülasyonları açısından avantaj sunmaktadır. Ayrıca depolama sürecinde tat kaybının düşük olması, raf ömrü uzun olan ürünlerde tercih edilmesini kolaylaştırmaktadır. Sukraloz'un düşük kullanım seviyeleri ile istenen tatlılık etkisini sağlaması, maliyet verimliliği ve kalori azaltımı açısından içecek sektöründe önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir.

Süt ürünleri ve dondurma sektörü de sukraloz kullanımının giderek arttığı alanlar arasında yer almaktadır. Bileşiğin termal kararlılığı, pastörize sütler, aromalı yoğurtlar ve düşük kalorili dondurmalar gibi ürünlerde şeker yerine veya şekerle kombinasyon halinde uygulanmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca laktik asit bakterilerinin fermentasyonu esnasında tat kaybının görülmemesi, duyuusal bütünlüğün korunmasını sağlamaktadır. Bu durum, light süt ürünleri segmentinde tüketici kabulünü artıran faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Fırıncılık ve şekerleme ürünlerinde sukraloz'un kullanımı, tat profili ve ısıya dayanımı sayesinde yaygınlaşmıştır. Aspartamın aksine yüksek sıcaklıklarda bozunmayan sukraloz, kek, bisküvi, gofret ve çikolata kaplamalarında kullanılmakta ve bu ürünlerde hem tatlılık hem de düşük enerji değeri sağlamaktadır. Ayrıca sakız, şekerleme ve pastil gibi ürünlerde doğal aromalarla uyumlu aromatik profil sunması, duyuusal açıdan tercih edilmesini desteklemektedir.

Masaüstü tatlandırıcı preparatları, sukraloz'un günlük yaşamda en iyi bilinen formunu oluşturmaktadır. Bu ürünlerde bileşik genellikle eritritol, dekstroz veya maltodekstrin gibi taşıyıcılarla seyreltilmekte; tablet veya granül formda piyasaya sunulmaktadır. Böylece tüketicinin çay, kahve veya ev yapımı tatlılarda doğrudan kullanabilmesine imkan sağlanmaktadır. Amerika Diyetisyenler Birliği, düşük kalorili tatlandırıcı kullanımının enerji alımını azaltmada davranışsal bir destek unsuru olabileceğini belirtmiş ve sukraloz'un masaüstü tatlandırıcı olarak yaygın kullanımını, beslenme yönetimi kapsamında değerlendirmiştir.

Gıda dışı sektörlerde de sukraloz uygulamaları bulunmaktadır. Ağız bakım ürünlerinde, özellikle gargara ve diş macunlarında tat profilini iyileştirmek amacıyla kullanılabilir. Ayrıca bazı farmasötik preparatlarda, şurup ve çiğneme tabletlerinde acı tadı maskeleyen için uygulanmaktadır. Bu tür ürünlerde bileşiğin düşük dozda yüksek tatlılık sağlaması, farmakolojik etkinliğe müdahale etmeden duyuusal kabulü artırmayı mümkün kılmaktadır.

Bu değerlendirmeler ışığında sukraloz'un kullanım alanları, gıda mühendisliği ve tüketici beklentilerinin kesişiminde şekillenmektedir. Şeker tüketimindeki azaltım, diyabet yönetimi, kilo kontrolü ve sağlıklı beslenme eğilimleri doğrultusunda bileşiğin endüstriyel değeri yükselmektedir. Özellikle düşük kalorili ürün pazarının büyümesiyle birlikte yaygınlığı her geçen yıl artmaktadır. Dolayısıyla sukraloz yalnızca bir tatlandırıcı olarak değil, beslenme tercihleri ve sağlık odaklı ürün tasarımının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir.

10.6. Sonuç

Sukraloz, yoğun tatlandırıcı sınıfının hem duyu kalite hem de teknolojik uygulanabilirlik açısından en dikkat çeken bileşiklerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Sakkarozun yapısal olarak dönüştürülmesiyle elde edilen bu tatlandırıcı, yüksek tatlılık gücü sunarken metabolik enerji içermemesi ve doğal şekere yakın bir tat profili sağlaması nedeniyle güncel gıda tasarımının önemli unsurlarından biri haline gelmiştir. Endüstride içeceklerden süt ürünlerine, şekerleme ve tatlı ürünlerinden masaüstü tatlandırıcılara kadar geniş kullanım alanına sahip olması, sukraloz'un çok yönlü işlevsel karakterini ortaya koymaktadır.

Teknolojik açıdan bakıldığında bileşiğin termal dayanımı, pH stabilitesi ve depolama koşullarına uygunluğu, farklı üretim süreçlerinde tat bütünlüğünün korunmasını sağlamaktadır. Bu durum hem geleneksel ürünlerde hem de yeni formülasyonlu, düşük enerjili gıda tasarımlarında sukraloz'un tercih edilmesini desteklemektedir. Duyusal algı bakımından şekerle uyumlu tat profili sunması, tüketici kabulünü artırmakta ve diğer tatlandırıcılarla kombinasyon kullanımını mümkün kılmaktadır.

Bununla birlikte, sukraloz ile ilgili araştırmaların gelecekte özellikle mikrobiyota üzerine olası etkiler, uzun dönem tüketim sonuçları ve yeni uygulama teknolojileri üzerinde yoğunlaşması beklenmektedir. Gıda bilimi ve beslenme eğilimlerinin değişimi doğrultusunda, bileşiğin hem bilimsel hem de endüstriyel açıdan değerlendirilmesi devam edecektir. Genel olarak sukraloz, tatlandırıcı teknolojisinde kalori azaltma, duyu kalite optimizasyonu ve ürün çeşitliliğinin artırılması açısından oldukça önemlidir.

11. TATLANDIRICILARDA SON GELİŞMELER

11.1. Yeni Nesil Doğal Kaynaklı Tatlandırıcılar

Tatlandırıcı teknolojilerindeki gelişmeler, yalnızca sentetik bileşiklerin araştırılmasını değil; aynı zamanda doğal kökenli alternatiflerin endüstriyel açıdan değerlendirilmesini de içermektedir. Özellikle tüketicilerin doğal içerik beklentisinin artması, gıda endüstrisini bitkisel veya biyolojik kaynaklardan elde edilen düşük kalorili tatlandırıcılara yöneltmiştir. Nitekim steviol glikozitleri, luohan guo meyvesi özleri, eritritol, ksilitol, allüloz ve nadir şeker izomerleri bu kategori içinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Stevia rebaudiana bitkisinden elde edilen steviol glikozitleri, yeni nesil doğal tatlandırıcıların en bilinen temsilcilerindedir. Steviosid ve rebaudiosid A gibi bileşikler sakkarozdan 200 ila 300 kat daha tatlı bir etki sunmakta; buna karşın enerji içermemektedirler. Bu tatlandırıcıların metabolik olarak bağırsakta mikrobiyal parçalanmayla işlenmesi ve vücuttan steviol formunda atılması sağlıklı beslenme sistemleri için avantaj oluşturmaktadır. Bununla birlikte steviol glikozitlerinin duyuşal profili, özellikle steviosid formunda hissedilen acımsı bir tat nedeniyle bazı ürünlerde sınırlayıcı olabilmektedir. Gıda mühendisliğinde bu etkinin azaltılması amacıyla rebaudiosid A'nın daha saf fraksiyonlarda kullanımı veya glikozilasyon gibi teknoloji uygulamaları tercih edilmektedir.

Monk fruit olarak bilinen luohan guo meyvesi de yeni nesil doğal tatlandırıcılar kapsamında öne çıkmaktadır. Bu meyveden izole edilen mogrosidler, yüksek tatlılık kapasiteleri ve metabolik inertlikleri nedeniyle endüstride ilgi çekmektedir. Mogrosidlerin kalorisiz olması, kan glukoz seviyesi üzerinde olumsuz etki göstermemesi ve doğal algılanması, tüketici kabulünü artırmaktadır. Bununla birlikte ticari ölçekli üretimi, ekstraksiyon verimi ve maliyet gibi faktörler monk fruit kullanımının yaygınlaşması üzerinde belirleyici olmaktadır.

Doğal kaynaklı tatlandırıcılar arasında nadir şeker izomerleri de dikkat çekmektedir. Allüloz ve tagatoz gibi şeker türevleri, kimyasal yapıları bakımından fruktoz veya glikoz izomerlerine benzemektedir. Ancak düşük metabolik kullanılabilirlikleri nedeniyle enerji yükü oluşturmayan moleküllerdir. Bu tatlandırıcıların tat profili, sakkarozla yakın olmakla birlikte prebiyotik etkiler ve düşük glisemik yanıt gibi ilave avantajlara sahip oldukları bildirilmektedir. Bu nedenle fonksiyonel gıda formülasyonlarında özellikle tagatozun probiyotik ürün tasarımlarında kullanım potansiyeli dikkat çekmektedir.

Eritritol ve ksilitol gibi şeker alkolleri de doğal algısı yüksek tatlandırıcı kategorisinde sayılabilmektedir. Ksilitol'ün en önemli özellikleri arasında çürük oluşumunu baskılayan etki ve diş sağlığındaki koruyucu rolü bulunmaktadır. Nitekim Turku Sugar Studies olarak bilinen uzun dönemli araştırmalar, ksilitol'ün ağız sağlığı açısından çürük azaltıcı bir strateji olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde eritritol'ün ağız sağlığı açısından faydalı etkilerinin yanı sıra düşük enerji değerine sahip olması, onu diyet ürünlerinde sık kullanılan bir bileşik haline getirmiştir. Eritritol'ün hem biyoteknolojik hem de endüstriyel üretim yöntemlerinin geliştirilmesi, maliyet etkinliğini artırmakta ve alternatif tatlandırıcı sınıfında daha geniş bir kullanım alanı yaratmaktadır.

Bununla birlikte doğal tatlandırıcıların endüstriyel süreçlerde kullanılabilirliği konusunda bazı kısıtlayıcı durumlar bulunmaktadır. Örneğin steviol glikozitlerinin tat profilinde acımsı bir tat, eritritol'ün soğutucu etkisi ve ksilitol'ün yüksek dozlarının laksatif etkisi gibi problem alanları, formülasyon çalışmalarını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle yeni nesil doğal tatlandırıcıların gelişim trendi yalnızca ekstraksiyon ve saflaştırma odaklı olmayıp, aynı zamanda duyusal profil düzenleme, kombine tatlandırıcı kullanımı ve biyoteknolojik modifikasyon yaklaşımlarını da içermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yeni nesil doğal tatlandırıcılar hem sağlıklı beslenme trendleri hem de gıda endüstrisinin inovatif ürün stratejileri kapsamında önem kazanmaktadır. Tüketici algısında güvenilir kaynak imajı ve düşük enerji değerine sahip olmaları nedeniyle fonksiyonel gıda tasarımında kritik rol üstlenmektedirler. Ancak duyusal, ekonomik ve teknolojik kısıtlamaların varlığı, bu tatlandırıcıların gelişim sürecini halen dinamik ve araştırmaya açık kılmaktadır. Literatürde yer alan güncel araştırmalar, doğal tatlandırıcıların yalnızca şeker yerine kullanımı değil; aynı zamanda sağlık, metabolizma ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde olası etkileri bakımından da değerlendirildiğini göstermektedir. Bu nedenle yeni nesil tatlandırıcılar, hem bilimsel hem de endüstriyel açıdan gelecekte öneminin daha da artması beklenen bir kategori olarak ele alınmaktadır.

11.2. Tatlandırıcılardaki Biyoteknolojik Gelişmeler ve Mikrobiyal Üretim

Tatlandırıcı araştırmalarındaki önemli eğilimlerden biri, doğal tatlandırıcı moleküllerinin biyoteknolojik yöntemlerle üretimini mümkün kılan süreç inovasyonlarıdır. Geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin maliyet, verim ve

sürdürülebilirlik açısından sınırlı olması, endüstriyi mikrobiyal ve enzimatik sentez temelli yaklaşımlara yöneltmiştir. Bu kapsamda eritritol, ksilitol, mannitol ve nadir şekerlerin mikrobiyal fermentasyon yoluyla üretimi giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca steviol glikozitleri gibi bitkisel bileşiklerin de biyosentetik yollarla elde edilmesine yönelik araştırmalar hız kazanmaktadır.

Eritritol üretimi, mikrobiyal biyoteknoloji alanında en fazla araştırılan örneklerden biridir. *Candida magnoliae*, *Moniliella pollinis* ve *Yarrowia lipolytica* gibi maya türleri, karbon kaynaklarının dönüşümü ile endüstriyel ölçekte eritritol sentezi sağlayabilmektedir. Fermentasyon parametrelerinin optimizasyonu, özellikle fed-batch sistemlerinin kullanımı, üretim verimliliğini artırmak için temel yaklaşımlar olarak görülmektedir. Eritritol'ün düşük enerji değeri, soğutucu tat profili ve metabolik stabilitesi, gıda mühendisliği açısından biyoteknolojik üretim stratejilerinin önemini desteklemektedir. Ayrıca eritritol üretiminde yenilenebilir karbon kaynaklarının kullanılması, endüstride sürdürülebilir üretim anlayışı ile uyum göstermektedir.

Ksilitol üretimi de biyoteknolojik alanın dikkat çeken bir diğer konusu olup, hemiselülozik hidrolizatlar gibi tarımsal atıkların kullanımı ile ekonomik açıdan avantaj sağlayabilmektedir. Ksilitol üretiminde maya ve bakteri temelli biyoproseslerin geliştirilmesi, tarımsal atık yönetimi ve katma değerli ürün dönüşümü açısından önem taşımaktadır. Ksilitol'ün antimikrobiyal özelliklerinin yanı sıra diğ çürüklerinin azaltılmasında etkili olmasının, endüstriyel üretim talebini artırdığı ifade edilmektedir. Bu nedenle biyoteknolojik üretim araştırmaları, yalnızca verim artırmaya değil; aynı zamanda ürün saflığı ve uygulama alanlarının genişletilmesine de odaklanmaktadır.

Mannitol için geliştirilen üretim stratejileri de benzer şekilde biyoproses optimizasyonuna dayanmaktadır. Mannitol, kimyasal indirgeme yoluyla elde edilebildiği gibi, laktik asit bakterilerinin metabolik dönüşümüyle yani fermentasyon yoluyla da üretilebilmektedir. *Lactobacillus* türleri ile gerçekleştirilen fermentasyon süreçleri, daha düşük enerji tüketimini ve daha çevre dostu bir üretim yaklaşımını sunması nedeniyle ilgi çekmektedir. Ayrıca mannitol'ün klinik alanda ödem tedavisinde kullanılması, bu bileşiğin endüstriyel üretiminin yalnızca gıda sektörüyle sınırlı kalmadığını göstermektedir.

Stevia bitkisinden elde edilen steviol glikozitlerinin biyosentetik üretimi de yeni bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir. Bitkinin tarımsal kısıtları, çevresel koşullara bağlı verim dalgalanmaları ve ekstraksiyon maliyeti, mikrobiyal doğada glikozit sentezini cazip kılmaktadır. Genetik mühendisliği ve metabolik yol düzenlemesi ile mikrobiyal sistemlerin steviol glikozitlerini

üretebilmesi üzerine çalışmalar yapılmakta olup bu yaklaşım, gelecekte daha kontrollü ve sürdürülebilir tatlandırıcı üretimine olanak sağlayabilecektir.

Nadir şekerlerden allüloz ve tagatoz'un da enzimatik veya mikrobiyal dönüşüm yöntemleri ile üretimi, önemli bir araştırma alanıdır. Özellikle fruktoz izomerlerinin enzimatik dönüşümü, yüksek tatlılık gücüne sahip doğal alternatiflerin endüstriyel ölçekte üretimini desteklemektedir. Bu tatlandırıcıların prebiyotik etkileri, düşük glisemik yanıtları ve fonksiyonel gıda formülasyonlarına uyumları, biyoteknolojik üretim stratejilerine duyulan ilgiyi daha da artırmaktadır.

11.3. Sentetik Tatlandırıcılardaki Gelişmeler ve Formülasyon Yaklaşımları

Tatlandırıcı teknolojilerinde doğal kaynaklı moleküllere yönelik ilgi artmakla birlikte, sentetik tatlandırıcı araştırmaları da duyuşal profil optimizasyonu, stabilite artırımı ve sağlık güvenliği açısından gelişimini sürdürmektedir. Bu kapsamda özellikle neotam, advantam ve kompozit tatlandırıcı sistemleri, yeni nesil uygulamalar arasında değerlendirilmektedir. Sentetik tatlandırıcıların temel avantajları arasında yüksek tatlılık gücü, düşük kullanım dozu, termal stabilite ve uzun raf ömrü bulunmaktadır. Ancak duyuşal uyumsuzluklar ve bazı bileşiklerde görülebilen acı tat gibi sınırlılıklar, bu alanda formülasyon biliminin önemini artırmıştır.

Neotam, aspartam yapısının modifiye edilmesiyle geliştirilen, sakkarozdan yaklaşık 7.000 ila 8.000 kat daha tatlı bir tatlandırıcıdır. Aspartamdan farklı olarak daha yüksek sıcaklıklarda stabil olması, ısıl işlem görmesi gereken gıda formülasyonlarında kullanılmasını kolaylaştırmaktadır. Neotam'ın metabolik olarak fenilalanini serbest bırakmaması, fenilketonüri hastaları açısından da avantaj sağlamaktadır. Bu molekülün duyuşal etkisinin artırılmasına yönelik çalışmalar, elektronik burun ve duyuşal panel teknikleri ile aroma bütünlüğü değerlendirmeleri yapılarak ilerlemektedir.

Yeni nesil tatlandırıcılar arasında advantam da dikkat çeken bir başka örnektir. Aspartam ile vanilin türevlerinin kimyasal etkileşimi sonucu geliştirilmiş olan advantam, sakkarozdan yaklaşık 20.000 kat daha tatlı bir tat gücü sunmaktadır. Avantaj sağlayan bir diğer özelliği ise duyuşal profili iyileştiren aromatik katkı mekanizmasıdır. Advantam'ın düşük dozlarda yüksek tatlılık sağlaması, özellikle koku profili ile uyumlu tat elde edilmesinde yiyecek ve içecek formülasyonlarında avantaj sunmaktadır. Ancak ekonomik nedenler, regülasyon süreçleri ve formülasyon zorlukları nedeniyle advantam'ın yaygınlığı sınırlı kalmıştır.

Sentetik tatlandırıcı araştırmalarında bir diğer yönelim, farklı tatlandırıcıların kombine kullanımı ile duyuşal profilin iyileştirilmesidir. Sukraloz ve asesülfam-K karışımları bu yaklaşımın en bilinen örnekleridir. İki tatlandırıcının sinerjistik etki göstermesi, hem istenmeyen acımsı tatların baskılanmasını sağlamakta hem de genel tat yoğunluğunu artırmaktadır. Bu tür kombinasyonların geliştirilmesi, duyuşal gölgeleme mekanizmalarının anlaşılmasına yönelik araştırmaları teşvik etmektedir. Gıda endüstrisi, tat dengeleme stratejileri ile daha doğal kabul edilen ve şekerle uyumlu tat profili sunan ürünler geliştirme çabasını sürdürmektedir.

Formülasyon bilimi aynı zamanda acı tat maskelenmesi, soğutucu tat algısının azaltılması, viskozite ve doku optimizasyonu gibi teknolojik sorunlara da odaklanmaktadır. Elektronik dil sistemleri, duyuşal panel uygulamaları ve aroma dengeleme yaklaşımları sentetik tatlandırıcıların ürün performansını artırmak için kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Tatlandırıcı sistemleriyle ilgili araştırma alanları sadece tat yoğunluğunu değil, aynı zamanda besleyici profil, metabolik etki ve mikrobiyota etkileşimleri gibi konuları da kapsayacak şekilde genişlemektedir.

Bu erevde sentetik tatlandırıcı araştırmalarının geleceği, yalnızca molekl geliştirmeye dayanmamakta; aynı zamanda duyuşal bilim, metabolizma çalışmaları, regülasyon değerlendirmeleri ve ürün mühendisliği ile şekillenmektedir. Alternatif tatlandırıcı sınıfları ile rekabet halinde olan yapısal modifikasyonlar, sinerjik tatlandırıcı sistemleri ve aroma aktivasyonu odaklı yaklaşımlar, sentetik tatlandırıcıların fonksiyonel değerini artıran temel eğilimler olarak görülmektedir. Dolayısıyla tatlandırıcı teknolojilerindeki yenilikler hem gıda biliminin duyuşal yn hem de sağlık etkileri bakımından çok yönlü bir araştırma alanı olarak önemini korumaktadır.

11.4. Tatlandırıcı Kombinasyonu Teknolojileri ve Duyusal Sinerji Yaklaşımları

Tatlandırıcı alanındaki güncel gelişmeler yalnızca tekil molekllerin performansına odaklanmamakta; aynı zamanda birden fazla tatlandırıcının sinerjik etkisini temel alan formülasyon stratejilerini de içermektedir. Bu yaklaşımın temel amacı, bireysel tatlandırıcıların duyuşal kısıtlamalarını azaltmak, tat bütünlüğünü artırmak ve tüketiciden daha doğal algılanan bir tat profili oluşturmaktır.

Özellikle acı tat hissi uyandıran steviol glikozitleri, soğutucu etki yaratan eritritol veya metalik tat algısı oluşturabilen asesülfam-K gibi maddeler için

kombinasyon stratejileri önemli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Tatlandırıcı kombinasyonları ilk olarak şeker azaltılmış ürünlerin duyuusal performansını iyileştirme amacıyla değerlendirilmiştir. Bu amaçla sakkaroz-rebaudiosid A veya eritritol-stevia karışımları örnek olarak kullanılmıştır. Bu tür bileşenlerin birlikte kullanılması, şeker tadına yakınlık sağlayarak tüketici kabulünü artırabilmektedir. Özellikle rebaudiosid A ile eritritol'ün birlikte kullanılması, hem şeker benzeri tat iletimine katkı sağlamakta hem de soğutucu etki veya acımsı tat gibi kısıtlamaların azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Kombinasyon stratejilerinin en bilinen örneklerinden biri sukraloz ve asesülfam-K karışımlarıdır. Bu iki bileşiğin sinerjik etki gösterdiği, toplam tat yoğunluğunu artırırken istenmeyen acımsı tatları baskıladığı belirlenmiştir. Bu tür sinerjiler, tat yoğunluğu algısının yalnızca molekül konsantrasyonu ile değil; farklı tatlandırıcıların reseptör etkileşimi üzerinden de modüle edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca sinerjik etki sayesinde tatlandırıcı miktarlarının düşürülmesi, maliyet avantajı ve metabolik yükün azaltılması gibi ek faydalar sunmaktadır.

Şeker alkollerinin kombine kullanımı da duyuusal optimizasyon amacıyla yaygın olarak araştırılmaktadır. Eritritol, ksilitol, izomalt veya maltitol'ün formülasyonda birlikte bulunması, doku ve ağız hissinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Örneğin eritritol ile ksilitol kombinasyonları, serinletici tat algısını yumuşatarak daha dengeli bir duyuusal profil sunabilmektedir. Ayrıca ksilitol'ün antimikrobiyal etkisi ve ağız sağlığına yönelik olumlu katkıları, sakız ve şekerleme ürünlerinde tatlandırıcı kombinasyonlarının fonksiyonel açıdan değerini artırmaktadır.

Biyoteknolojik yöntemlerle elde edilen steviol glikozitlerinin çeşitli glikozilasyon ürünleri de duyuusal sinerji çalışmalarına örnektir. Rebaudiosid M ve rebaudiosid D gibi yeni nesil glikozitler, daha düşük acılık ve daha yüksek şeker benzeri tat ile alternatif formülasyonlara olanak sağlamaktadır. Bu bileşiklerin eritritol veya diğer tatlandırıcılarla kombinasyonu, tat profilinin rafine edilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu tür geliştirmeler, gelecekte doğal tatlandırıcı kombinasyonlarının daha rafine duyuusal özellikler sunmasını mümkün kılabilir.

Tatlandırıcı sinerjisi yalnızca duyuusal boyutta değil; aynı zamanda teknolojik işlevsellik açısından da önemlidir. Viskozite, kristalizasyon, çözünürlük ve stabilite parametreleri tatlandırıcı kombinasyonları ile kontrol edilebilmektedir. Bu durum özellikle dondurma, şekerleme, çikolata ve içecek formülasyonları gibi hassas sistemlerde etkilidir. Gıda tasarımı

tatlandırıcıların yalnızca tat taşıyıcısı olmayıp aynı zamanda yapısal elemanlar oldukları da düşünüldüğünde, kombinasyon stratejilerinin çok yönlü bir fonksiyonellik sunduğu görülmektedir.

11.5. Tatlandırıcılarla ilgili Güncel Sağlık Tartışmaları ve Araştırma Alanları

Tatlandırıcıların tüketimi, gıda endüstrisinde şeker azaltımı, diyet ürün formülasyonu ve metabolik hastalıklarla mücadele açısından önemli bir strateji olarak ele alınmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda yapay ve doğal tatlandırıcıların sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin bilimsel tartışmalar giderek çeşitlenmiştir. Metabolizma, mikrobiyota, duyuşsal algı, enerji dengesi ve kronik hastalıklar alanında geniş bir araştırma alanı oluşmuştur. Bu tartışmalar, tatlandırıcıların etkisinin tek boyutlu olmadığını; birey, doz, ürün türü ve diyet kompozisyonu gibi faktörlere bağıli karmaşık mekanizmalarla şekillendiğini göstermektedir.

Tatlandırıcılar üzerinde yapılan sağlık araştırmalarının en önemli başlıklarından biri, metabolik etkilerle ilgilidir. Enerji içermeyen tatlandırıcıların obezite, diyabet ve insülin direnci üzerine etkileri, literatürde geniş bir biçimde ele alınmıştır. Bazı çalışmalar yapay tatlandırıcıların enerji dengesini olumlu etkileyebildiğini, kalori alımının azaltılmasına katkı sağladığını ve kilo yönetiminde kullanılabileceğini belirtmektedir. Buna karşın bazı araştırmalar, tatlandırıcıların tat algısında ve ödül mekanizmasında değişikliklere yol açarak iştah artışı veya tatlı yiyeceklerle yönelim oluşturabileceğini öne sürmektedir. Bu çelişkili bulgular, tatlandırıcıların metabolik etkilerinin bireysel ve davranışsal faktörlerle birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Son yıllarda önemli bir tartışma başlığı da tatlandırıcılar ve bağırsak mikrobiyotası arasındaki etkileşimlerdir. Hayvan modelleri, asesülfam-K ve sukraloz gibi tatlandırıcıların bağırsak mikrobiyotasında kompozisyon değişikliklerine yol açabileceğini gösterilmiştir. Bununla birlikte insan çalışmalarının sonuçları daha heterojen olup, mikrobiyota yanıtlarının bireysel biyoloji, diyet alışkanlıkları ve tüketim düzeyiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle mikrobiyota alanındaki araştırmalar, henüz kesin çıkarımlara izin vermemektedir. Tatlandırıcıların mikrobiyal ekosistem üzerindeki etkileri, gelecekteki çalışmalar için önemli bir başlık olarak görülmektedir.

Tatlandırıcı tüketiminin duyuşsal ve davranışsal boyutu da güncel araştırma alanlarından biridir. Bazı çalışmalar tatlandırıcı kullanımının tatlılık algısında değişikliklere yol açabileceğini ve yüksek tatlılık uyaranlarının uzun vadede

doğal şeker algısını azaltabileceğini bildirmektedir. Buna karşın diğer araştırmalar, tatlandırıcıların iştah kontrolü veya besin tercihleri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu ileri sürmektedir. Bu çelişkili sonuçlar, duyuşsal ve nörobilişsel mekanizmaların daha fazla incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

Tatlandırıcı güvenliğı ile ilgili literatürdeki bilgiler çeşitlilik göstermektedir. Bazı tatlandırıcılar için toksikolojik değerlendirmeler olumlu bulunmuş ve uluslararası otoriteler tarafından güvenli kabul edilmiştir. Bununla birlikte siklamat, sakarin ve aspartam gibi bileşiklerin bazı dozlarda olumsuz etki gösterebileceğini bildiren çalışmalar, güvenlik değerlendirmelerinin sürekli güncellenmesini gerekli kılmıştır. Bu nedenle tatlandırıcı güvenliğı üzerine gerçekleştirilen araştırmalar moleköl bazlı değil; tüketim deseni ve bireysel biyolojik farklılıklar odağında ilerlemektedir.

Güncel araştırmalarda bir diğer yönelim, tatlandırıcıların kronik hastalık riskleriyle ilişkisini değerlendirmeye yöneliktir. Kardiyovasküler hastalıklar, metabolik sendromlar, üreme fonksiyonları ve nörolojik süreçler üzerinde olası etkileri rapor edilmekte; ancak sonuçların çoğu tutarsız veya metodolojik kısıtlamalar içermektedir. Bu nedenle tatlandırıcı tüketimi ile sağılık ilişkisini yorumlamak çalışma modeli, popölasyon özellikleri ve diyet kompozisyonu gibi parametreler dikkate alınmadan mümkün değildir.

Genel olarak değerlendirildiğinde tatlandırıcılar üzerine yürütölen sağılık tartışmaları, moleköler biyoloji, epidemiyoloji, duyuşsal bilim ve klinik araştırmalar ile şekillenen çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Tatlandırıcıların etkileri, tek başına moleköl özellikleriyle değil; tüketim sıklığı, ürün yapısı, eşlik eden beslenme alışkanlıkları ve bireysel metabolik profillerle birlikte değerlendirildiğinde anlam kazanmaktadır. Bu nedenle gelecekte tatlandırıcı araştırmalarında kişiselleştirilmiş beslenme, mikrobiyota yanıtları, davranışsal mekanizmalar ve uzun dönem insan çalışmaları kritik çalışma alanları olarak öne çıkacaktır. Tatlandırıcı teknolojileri ile sağılık arasındaki bu dinamik ilişki, gıda bilimi ve halk sağılığı açısından önemini korumaya devam etmektedir.

11.6. Sonuç

Tatlandırıcı teknolojileri, gıda endüstrisinde şeker azaltma ve sağılıklı beslenme yaklaşımlarının merkezinde yer alan, dinamik bir alan olarak gelişimini sürdürmektedir. Doğal kökenli moleköllerin keşfi, biyoteknolojik üretim stratejileri, yeni nesil sentetik tatlandırıcı tasarımları ve duyuşsal optimizasyonu hedefleyen kombinasyon sistemleri bu gelişimin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu bağlamda hem doğal hem de yapay tatlandırıcıların

fonksiyonel, metabolik ve duysal performansını geliştirmeye yönelik çalışmalar gıda mühendisliği, molekler biyoloji, tüketiciler araştırmaları ve sağlık bilimlerinin kesişiminde ilerlemektedir.

Tatlandırıcılar zerine yürütülen araştırmalar, şeker yerine ikame olmanın ötesine geçerek metabolizma, mikrobiyota, davranışsal beslenme ve kronik hastalık riski gibi geniş bir etki alanını kapsamaktadır. Elde edilen bulgular, tatlandırıcıların etkilerinin tek boyutlu olmadığını, bireysel fizyoloji, tüketiciler alışkanlıkları ve ürün formülasyonu gibi çok yönlü değişkenlerle şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, tatlandırıcıların değerlendirilmesinde molek bazlı yaklaşımlar yerine sistem odaklı düşünmenin gerekliliğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde tatlandırıcı teknolojilerindeki yenilikler, sadece ürün geliştirme açısından değil; aynı zamanda halk sağlığı perspektifinden de önem taşımaktadır. Önümüzdeki dönemde kişiselleştirilmiş beslenme uygulamalarının artması, mikrobiyota araştırmalarının gelişmesi ve duysal bilimdeki ilerlemeler, tatlandırıcılara ilişkin bilgi birikimini daha da derinleştirecektir. Bu nedenle tatlandırıcılar, modern gıda sistemlerinin sürdürülebilirliği, tüketiciler beklentilerinin karşılanması ve sağlık odaklı ürün tasarımının desteklenmesi açısından stratejik bir rol oynamaya devam edecektir.

BÖLÜM 2

TATLANDIRICILARIN BESLENME VE SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

GİRİŞ

Modern toplum obezite, diyabet ve diğer kronik sağlık sorunlarıyla ilgili artan zorluklarla karşı karşıya kaldıkça tatlandırıcılar ve bunların yerine kullanılan ürünlere olan ilgi giderek artmaktadır. Özellikle obezite, küresel bir salgın haline gelmesiyle birlikte kilo yönetimi ve daha sağlıklı yaşam tarzlarını benimseme konusunda yoğun çaba harcanmaktadır. Çalışmalar, bireylerin bu hedeflere ulaşmak için diyet değişiklikleri gibi stratejileri giderek daha fazla benimsediğini ve sağlık bilincine sahip tüketicilere hitap eden alternatif gıda ürünlerine olan talebin arttığını göstermektedir. Şeker alternatifleri arasında kalori alımına katkıda bulunmayan veya kan şekeri seviyelerini yükseltmeden tatlılığı koruyan çeşitler bulunmaktadır.

Şeker tüketimi uzun süredir bilindiği üzere kilo alımından metabolik bozukluklara kadar çeşitli olumsuz sağlık sonuçlarıyla ilişkilendirilmektedir. Sakkaroz, glikoz ve fruktoz gibi geleneksel şekerler, kalori alımına katkıda bulunan ve insülin direncini etkileyen metabolik olarak aktif bileşiklerdir. Obezite ve diyabetin küresel artışı, sağlığı tehlikeye atmadan tatlılık sağlayabilen alternatiflere olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Sonuç olarak, tatlandırıcılar, şeker alkolleri gibi şeker alternatifleri gıda endüstrisinde vazgeçilmez hale gelmiştir

Genellikle besleyici olmayan tatlandırıcılar olarak adlandırılan tatlandırıcılar, sentezlenmiş kimyasallardır veya doğal kaynaklardan elde edilir. Sofra şekerinden önemli ölçüde daha tatlıdır. Aspartam, sukraloz ve sakkarin gibi bu tatlandırıcılar kalorisiz tatlılık sağlar ve "şekersiz" veya "düşük kalorili" ürünlerde yaygın olarak kullanılır. Yaygın uygulamalarına rağmen, uzun vadeli güvenlikleri ve metabolik etkileri tartışma konusu olmaya devam etmektedir. ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) gibi düzenleyici kurumlar, bunların belirtilen günlük alım sınırları dahilinde kullanımını onaylayarak, sorumlu bir şekilde tüketildiğinde güvenli seçenekler olarak rollerini pekiştirmiştir

Tatlılığın duyuşsal algısı, diyet tercihlerinde ve gıda tüketiminde kritik bir rol oynar. Tatlılık yalnızca bir tat değil, genellikle ödöl ve tatminle ilişkilendirilen psikolojik ve duyuşsal bir deneyimdir. Tarihsel olarak, sanayi devrimi ve ardından gelen şeker üretimi, küresel diyet modellerini önemli ölçüde değiştirerek diş çürüğü ve diğer sağlık sorunlarının yaygınlığını artırmıştır. Araştırmalar şeker tüketimi ile ağız sağlığı sorunları arasındaki bağlantıyı net bir şekilde göstererek alternatif ürünlere olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Eritritol, ksilitol ve maltitol gibi şeker alkollerini, şeker alternatiflerinin benzersiz bir kategorisini temsil eder. Bu bileşikler bazı meyve ve sebzelerde doğal olarak bulunmasına rağmen daha geniş uygulamaları için ticari olarak üretilmektedirler. Geleneksel şekerlerin aksine, şeker alkollerinin glisemik cevabı ve kalori değeri düşüktür. Düşük glisemik indeksleri, onları diyabetli bireyler için özellikle yararlı hale getirir. Ancak aşırı tüketimleri, sindirim sisteminde eksik emilimleri nedeniyle gastrointestinal rahatsızlığa yol açabilir.

Şeker alternatifleri alanında bir diğer gelişme ise allüloz ve tagatoz gibi düşük kalorili şekerlerin ortaya çıkmasıdır. Allüloz ve tagatoz gibi bileşikler şekerin tatlılığını taklit eder. Ancak bu bileşikler minimum düzeyde metabolize edilirler ve bu da ihmal edilebilir kalorik katkılarla sonuçlanır. Bu şekerler sükröz yerine geçen, benzer hacim ve tat sağlayan düşük kalorili tatlandırıcılardır ve geleneksel şekerlerin özelliklerine çok benzeyen fiziksel ve duyuşsal özellikleri nedeniyle hacim artırıcı tatlandırıcı olarak da kullanılır.

Tatlandırıcıların rolü sağlık yararlarının ötesine geçerek teknolojik ve mutfak uygulamalarını da içerir. Şeker alternatifleri, ürün kalitesini ve tüketici memnuniyetini sağlamak için sıkı gereksinimleri karşılamalıdır. Tatlılık yoğunluğu, çözünürlük ve stabilite gibi faktörler, düşük kalorili ve şekersiz ürünlerin formülasyonunda kritik hususlardır. Gıda bilimi ve teknolojisindeki ilerlemeler, bu zorlukları ele alan karışımların ve formüllerin geliştirilmesini sağlayarak şeker alternatiflerini çok yönlü ve çekici hale getirmiştir.

Şeker alternatiflerinin potansiyel sağlık yararları, özellikle kilo ve diyabet yönetimi açısından önemlidir. Ancak, kamuoyunun şüpheçiliği ve bu ürünlerin güvenilirlikleri hakkındaki yanlış bilgilendirme, bunların yaygın kabulünü engellemeye devam etmektedir.

Çalışmalar, yapay tatlandırıcıların önerilen sınırlar içinde tüketildiğinde doğal olarak kilo alımına veya diğer olumsuz etkilere neden olmadığını göstermektedir. Bu bileşiklerin güvenliği ve etkinliği hakkında kamuoyunun eğitilmesi şeffaf iletişimi sağlamak, yanlış anlamaları ortadan kaldırmak ve bilinçli diyet seçimlerini teşvik etmek için önemlidir.

Şeker alternatifleri üzerine yapılan araştırmalar ilerledikçe, doğal kaynaklardan elde edilen yeni tatlandırıcılar giderek daha popüler hale gelmektedir. Örneğin, stevia ve keşiş meyvesi özleri, kalorisiz tatlılık sunan bitki bazlı tatlandırıcılardır. Bu doğal alternatifler, genellikle daha sağlıklı seçenekler olarak algılanır ve tüketicilere sunulan şeker alternatiflerinin yelpazesini daha da genişletir.

Sonuç olarak, şeker alternatiflerinin geliştirilmesi ve kullanımı, modern diyet zorluklarını ele almanın ayrılmaz bir parçasıdır. Bu bileşikler, kalori alımını azaltmak, kan şekeri seviyelerini yönetmek ve tatlılığın duyuşal niteliklerini korurken ağız sağlığını iyileştirmek için çözümler sunmaktadır. Gıda endüstrisindeki yenilikler devam ettikçe, şeker alternatifleri daha sağlıklı beslenme alışkanlıklarını teşvik etmede ve genel yaşam kalitesini artırmada önemli bir rol oynamaya hazırdır.

1. GLİSEMİK ETKİ VE TOLERANS

Glisemik etki, karbonhidrat içeren besinlerin kan şekeri seviyeleri üzerindeki etkisi ile ifade edilir. Metabolik sağlığın korunmasında glisemik etki önemli rol oynar. Bu etkinin kontrolü, özellikle diyabet ve obezite gibi sağlık sorunları yaşayan bireyler için kritik bir öneme sahiptir. Kan şekeri seviyelerini yönetmek ve kalori alımını azaltmak amacıyla hem doğal hem de yapay tatlandırıcılar, şeker yerine kullanılan yaygın alternatifler arasında yer alır.

Aspartam, sukraloz ve sakkarin gibi yapay tatlandırıcılar, önemli miktarda kalori alımı olmaksızın tatlılık sağlar. Bu özellikleri sayesinde, kilo kontrolü sağlamak veya kan şekeri seviyelerini düzenlemek isteyen bireyler arasında oldukça yaygın olarak kullanılır. Şekersiz içecekler, atıştırmalıklar ve tatlılarda sıkça yer alır, çünkü glisemik etki üzerindeki tepkileri minimum düzeydedir.

Olumlu yanları haricinde yapay tatlandırıcılar çeşitli tartışmalara da konu olur. Kabul edilebilir günlük alım sınırları dahilinde güvenli oldukları belirtilse de bu maddelerin metabolik sağlık, bağırsak mikroflorası ve genel sağlık üzerindeki uzun vadeli etkileri konusunda tartışmalar devam etmektedir. Bu etkilerin tam olarak anlaşılabilmesi, fizyolojik ve davranışsal sonuçlarının kapsamlı bir şekilde incelenmesini gerektirir.

1.1. Glisemik Etki: Tarihten Günümüze

Tatlandırıcıların tarihi, 1879 yılında sakkarinin keşfiyle başlar. Zamanla, aspartam ve sukraloz gibi diğer sentetik tatlandırıcılar, şeker alternatiflerine

duyulan ihtiyacı karşılamak üzere geliştirilmiştir. Başlangıçta diyabet yönetimi için pazarlanan bu tatlandırıcılar, obezite oranlarının küresel olarak artmasıyla daha geniş bir kullanım alanına yayılmıştır. Şekerin yüksek kalorili içeriği olmaksızın tatlılık sağlama özelliği, kalori azaltımına odaklanan beslenme rehberleriyle uyum sağlamaktadır.

Avantajlarına rağmen, yapay tatlandırıcıların güvenliği ve potansiyel sağlık riskleri konusundaki endişeler devam etmektedir. Erken dönem araştırmalar bu maddelerin kanserojen risk taşıyabileceğini öne sürse de, sonraki çalışmalar önerilen sınırlar dahilinde tüketildiklerinde bu iddiaları büyük ölçüde çürütür.

Genel olarak glisemik cevabın yapay tatlandırıcılara vücudun verdiği bireysel yanıtlarla nasıl değiştiğini anlamaya yönelik araştırmalar ön plana çıkmaktadır. Genetik faktörler ve bağırsak mikrobiyotası bileşimi gibi unsurların bu maddelerin metabolizmasında kritik rol oynadığı görülmektedir. Sürekli glikoz takibi (CGM) gibi teknolojilerle desteklenen kişiselleştirilmiş beslenme yaklaşımları, bireysel yanıtları optimize etmeyi hedeflemektedir.

Ayrıca, stevia ve monk fruit gibi doğal tatlandırıcılara olan ilgi artmaktadır. "Temiz etiket" arayan, sağlıklı yaşam bilincine sahip tüketiciler için cazip bir alternatif sunan bu tatlandırıcıların glisemik etki ve genel sağlık üzerindeki uzun vadeli etkileri ise hâlâ detaylı araştırma gerektirmektedir.

1.2. Glisemik Etki ve Olası Olumsuz Sonuçlar: Fizyolojik ve Davranışsal Etkiler

Tatlandırıcılar, glisemik etkiyi yönetmek için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, fizyolojik etkileri karmaşık olup tam olarak anlaşılmamaktadır. Örneğin, bazı araştırmalar sukralozun insülin duyarlılığını azaltabileceğini ve bunun glikoz düzenlemesi üzerinde olumsuz bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, yapay tatlandırıcıların metabolik olarak nötr olduğu varsayımını sorgulatmaktadır.

Yapay tatlandırıcılar, metabolik sağlık ve glikoz düzenlenmesinde önemli bir rol oynayan bağırsak mikrobiyotasını etkileyebilir. Sakkarin gibi yapay tatlandırıcıların bağırsak mikrobiyotası dengesini bozarak glikoz intoleransına yol açabileceği yönünde bulgular bulunmaktadır. İnsanlar üzerindeki etkileri netleşmese de, bu etkileşimlerin daha fazla araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Davranışsal faktörler de yapay tatlandırıcı tüketiminde önemli bir rol oynar. "Şekersiz" veya "diyet" ürünlerin tüketimi, bireylerde yanlış bir güven

hissi yaratarak diğer kalorilerin aşırı tüketimine yol açabilir ve beklenen sağlık faydalarını engelleyebilir. Ayrıca, bazı araştırmalar yapay tatlandırıcıların, şekerin beyin ödül yollarını tam olarak aktive etmediğini ve bu durumun gıda isteklerini artırabileceğini öne sürer.

Sağlık rehberleri, yapay tatlandırıcıların kullanımında ölçülülüğün önemini vurgulamaktadır. Kalori alımını azaltmak ve glisemik etkiyi yönetmek için yardımcı olmalarına rağmen, besleyici gıdalar açısından zengin ve dengeli bir diyetin yerini almamaları gerektiğini belirtmektedir. Tüketicilerin bilinçli kararlar almasını sağlamak ve tatlandırıcıları etkili bir şekilde diyetlerine dahil etmeleri için farkındalık ve eğitim kampanyalarının gerekli olduğunu öne çıkarmaktadır.

1.3. Besinlerin Kan Şekeri Üzerindeki Etkilerinin Ölçümü ve İfadesi

Besinlerin kan şekeri artış hızını belirlemek, bireylerin karbonhidrat metabolizmasını anlamada temel bir role sahiptir. Kan şekeri artış hızı, bireylerin besin tüketiminden sonra kan şekerinde meydana gelen değişikliklerin incelenmesiyle ölçülmektedir. Bu bağlamda, glisemik indeks (GI), karbonhidrat içeren besinlerin kan şekerini yükseltme potansiyelini standardize edilmiş bir referans besine (genellikle glikoz ya da beyaz ekmek) kıyasla ölçen önemli bir göstergedir. GI, 55'in altında olan besinleri düşük, 56-69 aralığını orta ve 70'in üzerindeki yüksek glisemik indeksli olarak sınıflandırır. Ancak GI değeri, yalnızca karbonhidratın kalitesine odaklandığı için, günlük hayatta tüketilen porsiyon büyüklüklerini hesaba katmamakta ve bu da daha kapsayıcı bir değerlendirme ölçütü olan glisemik yük (GL) kavramını ortaya çıkarmaktadır. GL, bir besinin GI değeri ile porsiyon büyüklüğündeki karbonhidrat miktarının çarpılıp 100'e bölünmesiyle hesaplanmaktadır ve beslenme düzenlerinin genel etkilerinin değerlendirilmesinde daha pratik bir yol sunmaktadır.

Kan şekeri artış hızının ölçülmesi, teknolojik gelişmeler sayesinde daha da detaylı hale gelmiştir. Parmak ucundan alınan kan örnekleri veya sürekli kan şekeri izleme cihazları gibi yöntemler, bireylerin glisemik cevaplarını analiz etmek için kullanılmaktadır. Özellikle sürekli izleme cihazları, bireylere anlık veri sağlayarak besinlerin kısa ve uzun vadeli etkilerini değerlendirmeye olanak tanır. Bunun yanında, bireylerin metabolik durumları, tüketilen besinlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile tüketim şekilleri de kan şekeri artış hızını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, lif içeriği yüksek olan besinler, mide boşalma hızını yavaşlatarak karbonhidratların emilimini azaltır ve daha düşük bir kan şekeri

tepkisine yol açar. Aynı şekilde, protein veya yağ içeriği zengin öğünlerle karbonhidratların birlikte tüketilmesi, kan şekerinde ani yükselmeleri baskılayabilir. Tüm bu faktörler, beslenme düzeninin planlanmasında göz önünde bulundurulmalıdır.

1.4. Şekerlerin ve Alternatif Tatlandırıcıların Kan Şekeri Üzerindeki Ani Etkileri

Şekerlerin tüketimi sonrası kan şekerindeki ani yükselmeler, özellikle diyabetli bireyler için önemli bir sağlık riski oluşturur. Saf glukoz, kan şekeri artış hızını en yüksek seviyeye çıkaran karbonhidrat türlerinden biri olarak tanımlanırken, sakkaroz glukoz ve fruktozdan oluşan bir disakkarit olarak orta düzeyde bir GI değerine sahiptir. Bu şeker türleri, yüksek glisemik yanıt oluşturarak kısa sürede enerji sağlar. Ancak uzun vadede metabolik sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Alternatif tatlandırıcılar, kan şekerinde minimal değişikliklere neden olmaları nedeniyle son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Örneğin, aspartam gibi düşük kalorili yapay tatlandırıcılar, metabolize edilmedikleri için glisemik cevaba katkıda bulunmazlar.

Şeker alkollerinin göreceli tatlılık değerleri Tablo 1’ de verilmiştir. Şeker alkollerini olarak bilinen ksilitol ve eritritol gibi bileşenler ise kısmen absorbe edildiğinden, kan şekeri üzerindeki etkileri oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, diyabet yönetimi için özel olarak üretilen birçok üründe bu bileşenler kullanılmaktadır. Ksilitol gibi tatlandırıcılar, şekerle benzer tat ve doku sağlarken, düşük glisemik cevap oluşturur. Bu durum hem kan şekeri kontrolü hem de ağız sağlığı için faydalıdır. Ayrıca, bu tatlandırıcıların diğer besinlerle birlikte tüketimi de glisemik cevabı değiştirebilir. Örneğin, protein veya yağ içeren bir öğünle birlikte tüketildiğinde, tatlandırıcıların kan şekeri üzerindeki etkisi daha da azaltılabilir. Bu durum, öğünlerdeki besin kombinasyonlarının kan şekeri yönetimindeki önemini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Şeker Alkollerinin Göreceli Tatlılığı

İsim	Sükroza Göre Tatlılık	Besin Enerjisi (kcal/g)	Enerji Başına Tatlılık (Sükroza Göre)	Enerji Yüzdesi (Sükroza Eşit Tatlılığa Göre)
Arabitol	0.7	0.2	14	7.1%
Eritritol	0.8	0.21	15	6.7%
Gliserol	0.6	4.3	0.56	180%
HSH	0.4–0.9	3.0	0.52–1.2	83–190%
İzomalt	0.5	2.0	1.0	100%
Laktitol	0.4	2.0	0.8	125%
Maltitol	0.9	2.1	1.7	59%
Mannitol	0.5	1.6	1.2	83%
Sorbitol	0.6	2.6	0.92	108%
Ksilitol	1.0	2.4	1.6	62%
Karşılaştırma (Sükroz):	1.0	4.0	1.0	100%

1.5. Tatlandırıcıların Kan Şekeri Seviyesi Üzerindeki Uzun Süreli Etkileri

Tatlandırıcıların uzun vadeli glisemik etkileri, bireylerin sağlık durumlarına doğrudan etki edebilir. Yüksek glisemik indeksli besinlerin uzun süreli tüketimi, tip 2 diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalık risklerini artırırken, düşük kalorili tatlandırıcıların bu riskleri azaltıcı etkileri gözlemlenmiştir. Örneğin, stevia ve sukraloz gibi doğal ve yapay tatlandırıcıların uzun süreli kullanımının, insülin direncine katkıda bulunmadığı ve açlık kan şekeri seviyelerinde anlamlı bir artış yaratmadığı gösterilmiştir.

Bununla birlikte, polidekstroz ve izomaltoz gibi hacim verici bileşenler, düşük kalorili tatlandırıcılarla kombine edilerek hem glisemik kontrol hem de bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Bu bileşenlerin prebiyotik özellikleri, bağırsak mikroflorasını olumlu yönde etkileyerek glukoz metabolizmasını düzenlemektedir. Ayrıca, alluloz gibi yeni nesil tatlandırıcıların düzenli tüketimi, glisemik cevap üzerinde olumlu etkiler göstermiş ve HbA1c seviyelerini düşürerek uzun vadeli kan şekeri kontrolüne katkı sağlamıştır.

Tatlandırıcıların diyetle entegrasyonu, bireylerin genel sağlık durumunu desteklese de, bu etkilerin optimal hale gelmesi için diyetin diğer bileşenlerinin dengeli bir şekilde düzenlenmesi gereklidir. Bu bağlamda, düşük kalorili tatlandırıcıları düzenli olarak kullanan bireylerin genellikle daha sağlıklı beslenme alışkanlıkları geliştirdiği bilinmektedir. Ancak yalnızca tatlandırıcı kullanımına odaklanıldığında bu faydaların sınırlı kaldığı belirtilmektedir.

1.6. Sağlıklı Bireylerde Düşük Glisemik İndekse Sahip Karbonhidratların Faydaları

Düşük glisemik indekse (GI) sahip karbonhidratların tüketimi, sağlıklı bireyler için enerji seviyelerinin sürdürülebilir bir şekilde korunmasında önemli bir rol oynar. Bu tür karbonhidratlar, kan şekerini daha yavaş yükseltir ve insülin salınımını daha kontrollü hale getirir. Bu süreç, gün boyunca sabit enerji seviyelerinin korunmasını sağlar ve ani kan şekeri düşüşlerinin neden olduğu yorgunluk ve açlık hissini önler. Ayrıca, düşük GI'e sahip karbonhidratların düzenli tüketimi, insülin duyarlılığını artırabilir.

Düşük glisemik indeksli karbonhidratlar, kilo kontrolüne yardımcı olmaktadır. Kan şekerinde ani dalgalanmalar olmadığı için bireyler daha uzun süre tok kalabilir. Bu durum, özellikle obeziteye yatkın bireyler için kilo alımını azaltan bir etkidir. Ek olarak, düşük GI diyetleri uygulayan bireylerin, daha düşük vücut kitle indeksine (VKİ) sahip olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir.

Düşük glisemik indeks, sinir sistemi üzerinde de olumlu etkiler sergilemektedir. Beyin, enerji ihtiyacını glikozdan karşılar ve düşük GI'li karbonhidratların sağladığı sabit enerji akışı, bilişsel fonksiyonların sürdürülmesinde önemlidir. Yapılan çalışmalar, bu tür karbonhidratların zihinsel odaklanma, dikkat ve hafıza üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir.

Düşük glisemik indeksli karbonhidratlar, metabolik sağlık üzerinde koruyucu bir etkide bulunur. Özellikle, diyabet veya metabolik sendrom riskini azaltabilir. Bu tür karbonhidratlar, lipid profillerini olumlu yönde etkileyerek düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) seviyelerini düşürebilir ve toplam kolesterolü dengeleyebilir.

Bu karbonhidratların anti-inflamatuar etkileri de vardır. Yüksek GI'li karbonhidratların aksine, düşük GI'li karbonhidratlar, inflamasyon belirteçlerini (örneğin C-reaktif protein) azaltabilir. Bu durum, kalp-damar hastalıklarının ve kronik inflamatuvar hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilir.

Düşük glisemik indeksli karbonhidratların sporcular için de faydaları dikkat çekicidir. Egzersiz öncesinde tüketildiğinde, kaslara düzenli glikoz akışı sağlayarak performansı artırabilirler ve egzersiz sonrası toparlanmayı destekleyebilirler. Sporcular üzerinde yapılan çalışmalar, düşük GI'li karbonhidrat tüketiminin dayanıklılığı artırabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, düşük glisemik indeksli karbonhidratlar yalnızca metabolik sağlığı korumakla kalmayıp, aynı zamanda enerji seviyelerini de düzenlerler. Kilo kontrolüne yardımcı olurlar ve inflamasyonu azaltırlar. Sağlıklı bireyler için bu tür karbonhidratların diyetle dahil edilmesi, genel sağlık üzerinde uzun vadeli olumlu etkiler sağlayabilir.

1.7. Glisemik Cevap ile İlişkili Gastrointestinal Tolerans

Gastrointestinal tolerans, bireyin tükettiği besinlerin bağırsaklarda sindirilmesi ve emilimi sırasında herhangi bir rahatsızlık yaratmama yeteneği olarak tanımlanır. Düşük GI'li karbonhidratlar, gastrointestinal sistem üzerinde olumlu bir etki yaratarak sindirimi kolaylaştırabilir. Bu durum, özellikle hassas bağırsak sendromu (IBS) veya irritabl bağırsak sendromu gibi rahatsızlıklardan muzdarip bireyler için önemlidir.

Bağırsak mikroflorası, genel sağlığın korunmasında önemli bir role sahiptir. Düşük GI'li karbonhidratlar, bağırsak mikroflorasını olumlu yönde etkileyebilir. Özellikle prebiyotik özellikler taşıyan bazı düşük GI'li karbonhidratlar, faydalı bağırsak bakterilerinin (örneğin Bifidobacterium ve Lactobacillus) büyümesini teşvik edebilir. Bu durum, gastrointestinal toleransı artırırken bağırsaklık sistemini de destekler.

Düşük GI'li karbonhidratlar, bağırsakta gaz ve şişkinlik gibi yan etkileri azaltabilir. Hızlı fermente olan karbonhidratların aksine, düşük GI'li karbonhidratlar daha yavaş fermente edilir ve bu da bağırsaklarda daha az rahatsızlık yaratır. Bu tür karbonhidratların düzenli tüketimi, sindirim sistemi sağlığını uzun vadede iyileştirebilir.

Bu karbonhidratların düşük fermentasyon özellikleri, kısa zincirli yağ asitleri (KZYA) üretimini dengeler. KZYA'leri, bağırsak hücreleri için enerji sağlar ve bağırsak sağlığını destekler. Ayrıca, KZYA üretiminin düzenlenmesi, kolon kanseri riskini azaltabilir.

Düşük GI'li karbonhidratlar, su emilimini düzenleyerek dışkı kıvamını iyileştirebilir ve kabızlığı önleyebilir. Yapılan araştırmalar, bu tür karbonhidratların bağırsak hareketlerini düzenlediğini ve dışkı hacmini artırarak kolon sağlığını desteklediğini göstermektedir.

Probiyotik etkileri ile düşük GI'li karbonhidratlar, gastrointestinal toleransı daha da artırabilir. Probiyotiklerle birlikte tüketildiğinde, bağırsakta faydalı mikroorganizmaların etkisini güçlendirir ve zararlı bakterilerin çoğalmasını önlerler. Bu, özellikle antibiyotik kullanımı sonrası bağırsak dengesini yeniden sağlamak için faydalı olabilir.

Düşük GI'li karbonhidratların gastrointestinal tolerans üzerindeki etkileri incelendiğinde bu tür karbonhidratların düzenli tüketimi ile bağırsak mikrobiyotasını iyileştirdiği, bağırsak rahatsızlıklarının azaldığı ve gastrointestinal sistemin uzun vadeli sağlığının korunduğu tespit edilmiştir.

1.8. Sonuç

Glisemik etki, bireylerin karbonhidrat tüketimine verdikleri metabolik yanıtın anlaşılmasında kritik bir parametredir. Özellikle diyabet, obezite ve metabolik sendrom gibi yaygın sağlık sorunlarının önlenmesi ve yönetiminde düşük glisemik indeksli karbonhidratlar ve alternatif tatlandırıcıların rolü giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yapay ve doğal tatlandırıcıların kısa vadeli glisemik cevap üzerinde sınırlı etkiler yarattığı gösterilmekle birlikte, uzun vadeli metabolik ve bağırsak sağlığı üzerindeki etkileri hâlen detaylı inceleme gerektirmektedir.

Bireysel glisemik yanıtlar, yalnızca besin bileşenleriyle değil; genetik faktörler, bağırsak mikrobiyotası ve yaşam tarzı ile de şekillenmektedir. Bu durum, kişiye özel beslenme yaklaşımlarının önemini vurgular. Ayrıca, tatlandırıcıların yanlış güven hissi oluşturarak sağlıksız beslenme davranışlarına yol açabileceği gerçeği, tüketici farkındalığının ve eğitim çalışmalarının artırılmasını gerekli kılmaktadır.

Düşük glisemik indeksli karbonhidratlar, yalnızca kan şekeri kontrolünü desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda kilo yönetimi, bilişsel performans, gastrointestinal tolerans ve inflamasyonun azaltılması gibi çok boyutlu faydalar sunar. Bu bağlamda, tatlandırıcıların ve düşük GI'li karbonhidratların bilinçli, dengeli ve bütüncül bir beslenme yaklaşımı içinde değerlendirilmesi, bireysel ve toplumsal sağlık hedeflerine ulaşmada önemli katkılar sağlayacaktır.

2.DIŞ SAĞLIĞI

2.1. Giriş

Diş sağlığı, bireylerin genel sağlığı ile doğrudan ilişkili olan kritik bir parametredir ve yaşam kalitesini artırmada önemli bir rol oynar. Ağız ve diş

hastalıkları, global sağlık sorunları arasında yer almakta olup, özellikle diş çürükleri ve periodontal hastalıklar bireylerin günlük yaşam aktivitelerini olumsuz etkileyebilir. Şeker ve karbonhidrat tüketiminin artışı, çürük oluşumunda temel faktörlerden biri olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda tatlandırıcılar, diş sağlığı üzerindeki olumlu etkileriyle ön plana çıkmaktadır. Bakterilerin metabolik süreçlerini bozarak asit üretimini engelleyen bu bileşenler, diş minesinin korunmasına ve çürük riskinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, ksilitol, eritritol ve izomalt gibi tatlandırıcıların antibakteriyel özellikleri, diş plağı oluşumunu sınırlayarak ağız sağlığını destekler. Diş sağlığını koruma stratejilerinin temel taşlarından biri olarak alternatif tatlandırıcıların önemi, bilimsel çalışmalarda geniş çapta ele alınmaktadır.

2.2. Diş Çürükleri

2.2.1. Kontrol ve Önlem

Diş çürüklerinin kontrol altına alınması ve önlenmesi, bireylerin ağız hijyeni alışkanlıklarını geliştirmesi ve diyet düzenlemeleri ile mümkündür. Çürük oluşumunun temel mekanizması, bakterilerin karbonhidratları metabolize ederek diş minesine zarar veren organik asitler üretmesidir. Florürlü diş macunlarının düzenli kullanımı, mine yüzeyinin yeniden mineralizasyonunu desteklerken, ksilitol gibi düşük kalorili tatlandırıcılar çürük yapıcı bakterilerin metabolizmasını engelleyerek asit üretimini azaltır. Ayrıca, düzenli diş fırçalama ve diş ipi kullanımı, plak birikimini önlemekte etkili araçlardır. Beslenme düzeninde şekerin sınırlandırılması, diş çürüklerini önlemenin en etkili yollarından biridir. Alternatif tatlandırıcıların kullanımı, diyet düzenlemelerinde önemli bir yer tutar ve çürük riskini minimuma indirmek için güçlü bir strateji olarak kabul edilir.

2.2.2. Karyojenik Etki

Karyojenik etki, bir maddenin diş çürüğü oluşturma potansiyelini ifade eder ve bu etkiler özellikle besinlerin ağız içi bakterilerle etkileşimi sırasında pH seviyesindeki değişimlerle ilişkilidir. Şekerler, ağızdaki bakteriler tarafından hızla fermente edilerek asit üretimine yol açar ve bu durum, diş minesinde demineralizasyon sürecini başlatır. Buna karşın, ksilitol ve eritritol gibi alternatif tatlandırıcılar, bakteriler tarafından metabolize edilmedikleri için pH seviyesini stabilize eder ve çürük yapıcı etki göstermez. Ayrıca, bu tatlandırıcılar bakteriyel kolonizasyonu engelleyerek plak oluşumunu azaltır. Tatlandırıcıların karyojenik

özelliklerini değerlendiren çalışmalar, ksilitolün çürük riskini azalttığını ve ağız sağlığını desteklediğini ortaya koymaktadır.

2.3. Tatlandırıcılar ve Dental Sağlık

2.3.1. Eritritol

Eritritol, doğal olarak bazı meyve ve sebzelerde bulunan ve düşük kalorili yapısıyla dikkat çeken bir şeker alkolüdür. Ağızdaki bakteriler tarafından metabolize edilmemesi nedeniyle çürük yapıcı bir etkisi yoktur. Eritritol, *Streptococcus mutans* gibi çürük yapıcı bakterilerin büyümesini engelleyerek diş plağı oluşumunu azaltır. Ayrıca, eritritolün düşük glisemik indeksi, diyabetli bireyler için de güvenli bir seçenek olmasını sağlar. Yapılan klinik çalışmalar, eritritolün ağız içi pH seviyesini dengeleyerek çürük oluşumunu önlediğini göstermektedir.

2.3.2. İzomalt

İzomalt, sükrozdan elde edilen düşük kalorili bir tatlandırıcıdır ve düşük glisemik indeksi sayesinde ağız sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Ağızdaki bakteriler tarafından fermente edilmediği için asit üretimini engeller ve diş minesinin korunmasına katkı sağlar. Şekerlemeler, sakızlar ve diyet ürünlerinde yaygın olarak kullanılan izomalt, diş çürüğü riskini azaltıcı etkisi nedeniyle güvenilir bir bileşen olarak kabul edilmektedir.

2.3.3. Laktitol

Laktitol, laktozdan türetilmiş bir tatlandırıcı olup, düşük kalorili yapısıyla diyet ürünlerinde yaygın olarak kullanılır. Bakteriler tarafından fermente edilme kapasitesi sınırlı olduğundan, ağız içi asit üretimini desteklemez ve çürük oluşumuna neden olmaz. Ayrıca laktitol, diş plağı oluşumunu engelleyici etkileri ile de bilinmektedir.

2.3.4. Maltitol

Maltitol, sükrozdan türetilmiş bir şeker alkolü olup, düşük kalorili ve karyojenik olmayan bir tatlandırıcıdır. Yapılan araştırmalar, maltitolün ağız içi pH seviyesini koruduğunu ve bakteriler tarafından düşük düzeyde fermente edildiğini göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle maltitol, ağız sağlığını koruma potansiyeline sahip güvenli bir tatlandırıcıdır.

2.3.5. Sorbitol

Sorbitol, doğal olarak meyvelerde bulunan bir şeker alkolü olup, düşük kalorili özellikleri ve diş çürüğü yapıcı etkisinin olmaması nedeniyle diyet ürünlerinde sıkça kullanılmaktadır. Ağız bakterileri tarafından sınırlı düzeyde metabolize edilir ve bu nedenle ağız içi pH dengesini koruyarak çürük oluşumunu önler.

2.3.6. Ksilitol

Ksilitol, diş çürüğü önleyici etkileriyle bilinen bir tatlandırıcıdır. *Streptococcus mutans* gibi çürük yapıcı bakterilerin metabolizmasını bozarak asit üretimini engeller ve ağız içi pH seviyesini stabilize eder. Ayrıca düzenli ksilitol kullanımı, diş plağı oluşumunu azaltarak diş sağlığını destekler. Klinik çalışmalar, ksilitolün düzenli kullanımda diş çürüğü riskini belirgin ölçüde azalttığını göstermektedir.

2.3.7. Asesülfam K

Asesülfam K, yüksek tatlılık seviyesine sahip, kalorisiz bir tatlandırıcıdır ve bakteriler tarafından fermente edilmediği için diş çürüğü yapıcı etkisi bulunmamaktadır. Bu özelliği, asesülfam K'yı ağız sağlığı açısından güvenli bir seçenek haline getirir. Şekerlemeler, diyet içecekler ve sakızlar gibi ürünlerde yaygın olarak kullanılan asesülfam K, diş minesini korumak ve pH seviyesini stabilize etmek açısından avantaj sunar. Ayrıca yapılan araştırmalar, bu tatlandırıcının diğer tatlandırıcılarla sinerjik bir tatlılık etkisi oluşturabildiğini ve bu nedenle formülasyonlarda sıkça tercih edildiğini göstermektedir.

2.3.8. Aspartam

Aspartam, düşük kalorili bir tatlandırıcı olarak yaygın kullanılan bir bileşendir ve diş çürüğü yapıcı etkisi bulunmamaktadır. Aspartam, *Streptococcus mutans* gibi bakteriler tarafından metabolize edilmez ve bu nedenle ağız içi pH seviyesini düşürmez. Tatlılık düzeyi yüksek olduğu için küçük miktarlarda kullanılması yeterlidir, bu da diş sağlığını koruma açısından ek bir avantaj sağlar. Aspartamın diş çürüğü riskini azalttığı ve ağız sağlığı üzerinde olumlu etkiler yarattığı yapılan birçok çalışmada vurgulanmıştır.

2.3.9. Siklamat ve Sakkarin

Siklamat ve sakkarin, uzun yıllardır gıda endüstrisinde kullanılan yapay tatlandırıcılardır. Bu tatlandırıcılar, kalori içermemeleri ve bakteriler tarafından

metabolize edilmemeleri nedeniyle diş çürüğü oluşumuna neden olmazlar. Sakkarin, özellikle düşük pH seviyelerinde stabil bir yapıya sahiptir ve ağız sağlığı açısından güvenilir bir bileşen olarak değerlendirilir (Tablo 2). Siklamat ise genellikle sakkarin ile kombine edilerek kullanılır ve sinerjik bir tatlılık etkisi oluşturur. Yapılan çalışmalar, bu tatlandırıcıların ağız içi bakteriyel aktiviteyi olumsuz etkilemediğini ve çürük riskini artırmadığını göstermektedir.

Tablo 2. Tatlandırıcıların Diş Sağlığına Etkileri

Tatlandırıcı	Tatlılık (Sakkarozaya göre)	Diş Çürüğü Önleme Etkisi	Bilimsel Bulgular
Ksilitol	1.0x	Yüksek	Günde 3–5 kez, toplam 5–10 g ksilitol tüketimi, diş çürüğü insidansını %30–80 oranında azaltabilir.
Sorbitol	0.6x	Orta	Ksilitole göre daha az etkili; plak asiditesini azaltabilir ancak bakteriler tarafından fermente edilebilir.
Eritritol	0.7x	Yüksek	3 yıllık kullanımda plak oluşumunu ve <i>Streptococcus mutans</i> sayısını azaltır; ksilitol ve sorbitolden daha etkilidir.
Stevia	250x	Potansiyel	Saf stevia, asiditeyi ve demineralizasyonu azaltabilir; ticari ürünlerdeki katkıları etkisini değiştirebilir.
Aspartam	200x	Belirsiz	Saf aspartam, asiditeyi azaltabilir; ancak ticari ürünlerdeki katkıları nedeniyle etkisi değişebilir.
Sakkarin	300x	Belirsiz	Diş çürüğü önleme etkisi hakkında sınırlı veri bulunmaktadır.

2.3.10. Sukraloz

Sukraloz, sukrozdan türetilen, kalorisiz bir tatlandırıcıdır. Diş çürüğü yapıcı etkisinin olmaması nedeniyle ağız sağlığı için güvenli bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Sukraloz, *Streptococcus mutans* gibi çürük yapıcı bakteriler tarafından metabolize edilmez ve bu nedenle ağız içi asit üretimini engeller. Ayrıca, yüksek tatlılık seviyesi sayesinde düşük miktarlarda kullanılabilir ve bu durum, formülasyon maliyetini azaltırken diş sağlığına da katkı sağlar.

2.4. Diğer Tatlandırıcılar

Allüloz ve tagatoz gibi düşük kalorili şekerler, ağız sağlığını destekleyici etkileriyle öne çıkarlar. Bakteriler tarafından fermente edilmedikleri için ağız içi pH seviyesini koruyarak çürük riskini azaltırlar. Ayrıca bu tatlandırıcılar, diyet ürünlerinde kullanılabilen güvenli bileşenlerdir.

2.5. Sonuç

Sonuç olarak, sakkaroz yerine kullanılan çeşitli tatlandırıcıların kendine özgü özellikleri bulunmaktadır ve bu maddeler, özellikle yüksek çürük riski taşıyan bireylerde, ağız ve diş sağlığını korumada önemli bir yardımcı araç olabilir. Ksilitol, maltitol, aspartam, steviozit ve palatinoz gibi tatlandırıcı kombinasyonlarının uygun şekilde kullanılması çürük oluşumunu azaltabilirken; sakkaroz gibi fermente olabilen şekerlerle birlikte kullanımlarının sınırlandırılması gerektiği unutulmamalıdır. Her bireyin ihtiyaçlarına uygun tatlandırıcı seçimi yapılmalı ve bu maddelerin kullanımı, halk sağlığı stratejilerinin bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, şeker alternatifleri ile ilgili bilgi kirliliğini önlemek adına, yalnızca güvenilir, yetkili kurumlar tarafından yayınlanan kaynaklardan yararlanılması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çürük yapıcı olmayan şekerlemelerin kullanımı, özellikle çocuklar gibi risk altındaki gruplarda, koruyucu diş sağlığı uygulamalarına değerli bir katkı sağlayabilir.

3. TATLANDIRICILAR VE SİNDİRİM SAĞLIĞINA ETKİLERİ

3.1. Giriş

Şeker alternatifleri, artan sağlık bilinci ve dünya genelinde obezite, diyabet ile metabolik sendromun yaygınlaşması sonucunda modern beslenme alışkanlıklarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu düşük kalorili ya da kalorisi olmayan şeker alternatifleri, kalori yükü olmadan tatlılık sağlayarak şeker alımını azaltma ve sağlık sorunlarına çözüm sunma potansiyeli taşır. Yapay tatlandırıcılar, içecekler, işlenmiş gıdalar ve hatta bazı ilaçlarda yaygın şekilde kullanılır ve beslenme düzenini önemli ölçüde etkiler. Ancak, bu maddelerin fizyolojik etkileri yalnızca kalorisiz olmalarıyla sınırlı kalmaz; özellikle bağırsak mikrobiyomu ile etkileşimleri aracılığıyla insan sağlığı üzerinde daha geniş kapsamlı etkiler yaratabilir. Genel olarak güvenli kabul edilmelerine rağmen, bazı kesimler tarafından belirli tatlandırıcıların uzun vadeli güvenliği hakkında endişelerini dile getirilmiştir.

Bağırsak mikrobiyomu, trilyonlarca mikroorganizmanın karmaşık bir ekosistemini oluşturur ve metabolit ile bağışıklık sisteminin homeostazında kritik bir rol oynar. Mikrobiyomun bileşiminde veya işlevinde meydana gelen değişiklikler disbiyozis olarak tanımlanır. Disbiyozis, yararlı mikroorganizmaların ve onların metabolitlerinin azalması, zararlı ya da fırsatçı mikroorganizmaların aşırı çoğalması ile birlikte anormal kolonizasyon ve inflamasyon gibi etkenler sonucu bağırsak fonksiyonlarının bozulması durumudur. Bu bozulmalar inflamasyon, metabolik düzensizlikler ve inflamatuvar bağırsak hastalıkları ile tip 2 diyabet gibi çeşitli hastalıklara yatkınlık ile ilişkilendirilir. Yapay tatlandırıcılar başlangıçta gastrointestinal sistemde sınırlı emilimleri nedeniyle biyolojik olarak inert kabul edilir. Ancak güncel araştırmalar bu yaklaşımı sorgulamaktadır. Az miktarda dahi olsa bağırsaklara ulaşan yapay tatlandırıcıların mikrobiyal çeşitlilik ve aktivite üzerinde etkileri vardır ve bu da sağlık üzerinde dolaylı etkiler yaratabilir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yapay tatlandırıcıların paradoksal etkilerini ortaya koymaktadır. Bir yandan glisemik kontrolü destekleyerek ve kalori alımını azaltarak diyet yönetiminde etkili bir araç olarak kullanılırlar. Öte yandan, bu tatlandırıcıların tüketimi bağırsak disbiyozisine yol açarak metabolik sinyal yollarını ve bağışıklık yanıtlarını olumsuz etkileyebilir. Yapay tatlandırıcılar, *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi yararlı bakteri popülasyonlarının sayısını azaltırken, patojenik bakteri türlerinin artışı teşvik eder. Bu durum bağırsak inflamasyonunu şiddetlendirir ve hastalıklara yatkınlığı artırır. Bu veriler, yapay tatlandırıcıların bağırsak sağlığı üzerindeki çift yönlü etkilerinin derinlemesine incelenmesini gerektirir.

Bu bölümde, yapay tatlandırıcıların sindirim sistemi üzerindeki etkileri bilimsel kaynaklar ışığında incelenerek, bağırsak mikrobiyotası ve metabolik sağlık üzerindeki potansiyel riskleri değerlendirilecektir.

3.2. Tatlandırıcılar ve Bağırsak Mikroflorası

Bağırsak mikrobiyomu, sindirim sürecinden önce, sırasında ve sonrasında diyet bileşenleriyle etkileşime giren karmaşık bir mikroorganizma topluluğunu temsil eder. Bu mikroorganizmalar, diyet lifi gibi sindirilemeyen maddelerin fermente edilmesinde önemli bir rol oynar. Böylece insan vücudunun sindiremediği bileşiklerden enerji elde edilmesini destekler. Ek olarak, çeşitli vitaminler de dahil olmak üzere temel besin maddelerinin sentezine katkıda bulunarak bunları emilim için kullanılabilir hale getirirler. Özellikle yeni ortaya çıkan araştırmalar, bağırsak mikrobiyomunun, farmasötik ilaçlar gibi

ksenobiyotikleri işleme biçimine benzer şekillerde besleyici olmayan tatlandırıcıları metabolize edebileceğini öne sürmektedir. Bu etkileşim, insülin direnci, obezite ve sistemik inflamasyon dahil olmak üzere metabolik durumlar üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir.

Tatlandırıcıların fizyolojik etkilerini inceleyen birden fazla çalışma, bağırsak mikrobiyotasını önemli bir araç olarak belirlemiştir. Ayrıca bu bileşiklerin uzun vadeli güvenliği ve konak-mikrobiyom dinamikleri hakkında sorular ortaya koymuştur. Dizileme teknolojileri, hesaplama araçlarındaki ilerlemeler ve mikrobiyom analiziyle ilişkili maliyetlerin azalmasıyla birlikte, bağırsak mikrobiyomunun insan sağlığındaki rolünün anlaşılmasına olan ilgi önemli ölçüde arttı. Özellikle, yaygın olarak tüketilen asesülfam K, aspartam, sukraloz ve sakarin gibi besleyici olmayan tatlandırıcıların bağırsak mikroorganizmalarıyla nasıl etkileşime girdiğini araştırmak, sağlıkla ilgili sonuçlarını tam olarak değerlendirmek için önemlidir.

3.3. Glikoz Metabolizması Üzerindeki Etkiler

Yapay tatlandırıcıların şeker yerine kullanılması, kalori alımını azaltarak kilo kontrolüne yardımcı olabilir. Ancak bazı araştırmalar, bu bileşiklerin glikoz metabolizması üzerinde beklenmedik etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, aspartam ve sakkarin gibi tatlandırıcıların, bağırsak bakterilerini değiştirerek glikoz intoleransına yol açtığı belirlenmiştir.

Bir başka çalışma, tatlandırıcıların bağırsakta kısa zincirli yağ asitleri (KZYA) üretimini azalttığını ortaya koymuştur. KZYA'leri, insülin duyarlılığını artırarak metabolizmayı düzenleyen bileşiklerdir. Yapay tatlandırıcı tüketiminin bu bileşiklerin üretimini engellemesi, tip 2 diyabet riskini artırabilir.

3.4. Sindirim Sistemi Üzerindeki Etkiler

Sindirim sistemi sağlığı, bağırsak florasının dengesi ile doğrudan ilişkilidir. Bağırsakta bulunan faydalı bakteriler, besinlerin sindirilmesine ve bağırsak hareketlerinin düzenlenmesine yardımcı olur. Ancak bazı yapay tatlandırıcıların, sindirim sürecini olumsuz yönde etkileyerek ishal, şişkinlik ve bağırsak düzensizlikleri gibi sorunlara neden olduğu gösterilmiştir.

Özellikle sukraloz ve asesülfam K'nın, bağırsak bariyerini zayıflatarak "sızdıran bağırsak sendromu" olarak bilinen durumu tetikleyebileceği belirtilmektedir. Bu sendrom, bağırsak duvarının geçirgenliğinin artması ve toksinlerin kana karışması sonucu kronik inflamasyona yol açabilir.

3.5. Bağırsak-Beyin Ekseni ve Nörolojik Etkiler

Bağırsak, sinir sistemi ile doğrudan bağlantılı olup, "ikinci beyin" olarak adlandırılmaktadır. Bağırsakta üretilen nörotransmitterler, beyin fonksiyonlarını etkileyebilir ve bu nedenle bağırsak sağlığındaki değişiklikler, nörolojik bozukluklara yol açabilir.

Aspartam gibi tatlandırıcıların, bağırsakta bulunan bakterilerin nörotransmitter üretimini değiştirdiği ve bunun da depresyon, anksiyete gibi ruhsal hastalıklara katkıda bulunabileceği öne sürülmektedir. Ayrıca, yapay tatlandırıcıların bağırsaktaki serotonin üretimini azaltarak ruh hali üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği bildirilmiştir.

3.6. Probiyotikler ve Prebiyotikler: Tatlandırıcıların Zararlarını Azaltabilir mi?

Bağırsak sağlığını korumanın en önemli yollarından biri, probiyotik ve prebiyotik tüketimini artırmaktır. Probiyotikler, bağırsakta faydalı bakterilerin büyümesini desteklerken, prebiyotikler ise bu bakterilere besin sağlayarak bağırsak ekosistemini güçlendirir.

Yapılan bazı çalışmalar, prebiyotik bakımından zengin besinlerin, tatlandırıcıların olumsuz etkilerini dengeleyebileceğini göstermektedir. Özellikle inülin ve fruktooligosakkarit (FOS) gibi prebiyotiklerin, bağırsaktaki faydalı bakterilerin dengesini koruyarak metabolik sağlığı desteklediği belirlenmiştir.

3.7. Sonuç

Sindirim sistemi, vücudun enerji ve besin maddelerini almasını sağlayan kritik bir biyolojik mekanizmadır. Bu sistemin optimal çalışması, bağırsak mikrobiyotası, beslenme alışkanlıkları ve çevresel faktörlerle yakından ilişkilidir. Son yıllarda, yapay tatlandırıcıların sindirim sağlığı üzerindeki etkileri giderek daha fazla araştırılmakta ve özellikle bağırsak mikrobiyotası üzerindeki potansiyel değişimler mercek altına alınmaktadır. Sindirim sisteminin kompleks yapısı ve dinamik etkileşimleri göz önüne alındığında, bu alanda daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

4. TATLANDIRICILAR VE KİLO KONTROLÜ: KİLO ALDIRIR MI, VERDİRİR Mİ?

4.1. Nöroendokrin Tepkiler ve Açlık Mekanizması

Tatlandırıcıların kilo kontrolü üzerindeki etkileri, esas olarak tat-algı ve enerji dengesi arasındaki karmaşık ilişkiden kaynaklanır. Yapay tatlandırıcılar kalori içermemesine rağmen, dildeki tat reseptörlerini uyararak beyne “tatlılık” sinyali gönderir. Bu durum, beynin homeostatik ve hedonik besin alımını düzenleyen bölgelerinde (hipotalamus, amigdala, insula) nöroendokrin bir yanıtı tetikler. Ancak bu tatlılık sinyali kalori alımıyla eşleşmediği için, özellikle dopaminerjik ödül sisteminde bir “ödül eksikliği” yaratabilir. Bu eksiklik, ilerleyen süreçte tatlı isteğini ve kalori alımını artırabilir.

Yapay tatlandırıcıların insülin ve inkretin hormonları üzerindeki etkileri de tartışmalıdır. Özellikle sukraloz gibi bazı tatlandırıcılar, dil ve bağırsaktaki tat reseptörleri aracılığıyla GLP-1 ve PYY gibi iştah düzenleyici hormonların salınımını etkileyebilir. Ancak bu etki bireysel farklılıklar gösterir. Bazı çalışmalarda, tatlandırıcıların inkretin yanıtlarını baskılayarak tokluk sinyallerini zayıflattığı bildirilmiştir.

Sonuç olarak, tatlandırıcılar nöroendokrin mekanizmalar üzerinden doğrudan kilo aldırıcı ya da verdirici bir etkiye sahip olmasa da, ödül mekanizması ve iştah hormonlarında yarattığı dengesizlikler nedeniyle dolaylı olarak kilo yönetimini zorlaştırabilir.

4.2. Tatlandırıcıların Kilo Kontrolüne Etkisi ile İlişkili Hayvan ve İnsan Çalışmaları

Hayvan modellerinde yapay tatlandırıcıların kilo kontrolü üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmalar, genellikle olumsuz sonuçlar ortaya koymuştur. Örneğin, yapılan bir çalışmada, sakkarin tüketen farelerde bağırsak mikrobiyotasının olumsuz etkilendiği ve bunun glukoz intoleransı ve kilo alımıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir. Tatlandırıcılar, özellikle Firmicutes ve Bacteroidetes oranını değiştirerek enerji homeostazını bozabilirler ve kilo artışına neden olabilirler.

Bian ve ark. (2021), aspartam ve sukraloz gibi tatlandırıcıların bağırsak bariyer bütünlüğünü bozarak endotoksemiye neden olabileceğini, bu durum da kronik inflamasyon ve insülin direncine katkıda bulunabileceğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, tatlandırıcıların yalnızca kalori denklemine değil, metabolik ve inflamatuvar süreçlerde de rol oynayabileceğini göstermektedir.

İnsan çalışmalarında ise sonuçlar daha karmaşık ve tutarsızdır. Örneğin, Lohner ve ark. (2020) tarafından yapılan kapsamlı bir meta-analiz, düşük kalorili

tatlandırıcıların kısa vadede kilo kaybına katkı sağladığını, ancak uzun vadede bu etkinin zayıfladığını göstermiştir. Kimi bireylerde tatlandırıcıların kalori alımını azalttığı gözlemlenirken, bazı bireylerde tatlı isteğini artırarak telafi edici yeme davranışlarına yol açtığı saptanmıştır.

Debras ve ark. (2022) tarafından yürütülen NutriNet-Santé kohort çalışması, uzun vadeli yapay tatlandırıcı tüketiminin VKİ artışı ve abdominal obezite ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, genetik ve yaşam tarzı faktörleriyle etkileşimlerin, tatlandırıcıların kilo üzerindeki etkilerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4.3. Tatlandırıcı Tüketimi ve Yeme Davranışı

Tatlandırıcıların yeme davranışı üzerindeki etkileri de kilo yönetimi açısından kritik bir konudur. Tatlandırıcılar, kalori içermeden tatlılık sağladığı için, beynin tatlı-algı ve kalori-algı uyumunu bozar. Bu uyumsuzluk, bazı bireylerde "tatlı krizleri" ve yüksek kalorili besinlere yönelme davranışını tetikleyebilir.

2019 yılında yapılan bir çalışma, tatlandırıcıların bağırsak mikrobiyotasında disbiyozis denen duruma yol açarak açlık ve tokluk sinyallerini bozabileceğini göstermiştir. Bu durum hem yeme sıklığında hem de enerji yoğunluğu yüksek gıdalara yönelimde artışa neden olabilir. Bu bulgu, tatlandırıcıların doğrudan kilo aldırıcı etkisinden ziyade, dolaylı olarak yeme davranışlarını etkileyerek kilo kontrolünü zorlaştırabileceğine işaret etmektedir.

Bir diğer kontrollü çalışmada tatlandırıcı tüketen bireylerin sonraki öğünlerde daha yüksek kalori aldığı, bu etkinin özellikle diyet yapan bireylerde daha belirgin olduğu gösterilmiştir. Bu sonuçlar, tatlandırıcıların psikolojik ve fizyolojik yeme regülasyonunu karmaşık biçimde etkileyebileceğini göstermektedir.

4.4 Tatlandırıcılar ve Obezite

Obezite, sınır tanımaksızın küresel ölçekte yaygınlaşan önemli bir halk sağlığı sorunudur. Hem çocukları hem de yetişkinleri etkileyen obezite, tüm etnik kökenleri ve ırkları kapsamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1980–2000 yılları arasında hem erkek hem kadın yetişkinlerde obezite prevalansında anlamlı bir artış gözlenmiştir. Sebepleri tam olarak aydınlatılamamış olmakla birlikte, 2000 yılından itibaren genel prevalans sabit seyretmesine rağmen, ileri derecede

obez bireylerin artış eğilimi devam etmektedir. Mevcut çalışmalar, obezitenin sanılandan çok daha karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve birçok içsel (genetik, hormonal, mikrobiyal) ve dışsal (çevresel, beslenme, yaşam tarzı) faktörün birleşimiyle ortaya çıktığını göstermektedir. Bu faktörler arasında enerji yoğunluğu yüksek gıdaların aşırı tüketimi, büyük porsiyon boyutları, fiziksel hareketsizlik, bağırsak mikrobiyotasında değişiklikler, yüksek yağ ve/veya şeker içeren diyetler ile yapay tatlandırıcı kullanımı da yer almaktadır.

Tatlandırıcıların obezite üzerindeki etkilerini inceleyen birçok büyük ölçekli prospektif kohort çalışması, bu maddelerin kullanımının vücut kitle indeksi ile doza bağlı şekilde pozitif ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Azad ve ark.'nın yürüttüğü çalışmada, gebelik döneminde yapay tatlandırıcı içecek tüketiminin, bebeklerin daha yüksek VKİ değerlerine sahip olmasıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir. 2009–2012 yılları arasında 3033 sağlıklı annenin dahil edildiği bu çalışmada, gebelik süresince yapay ve şekerli içecek tüketimleri değerlendirilmiştir. Tatlandırıcı içeren içeceklerin günlük tüketimi, bir yaşındaki bebekte fazla kilolu olma riskini iki kat artırmıştır.

Yakın zamanda yapılan 11 çalışmanın dahil edildiği bir meta-analiz, şekerli gazlı içecek tüketen bireylerde obeziteye ilişkin göreceli riski 1.18 (Güven aralığı %95, 1.10–1.27) olarak bulurken, yapay tatlandırıcı gazlı içecek tüketenlerde bu riskin 1.59 (Güven aralığı %95, 1.22–2.08) olduğunu göstermiştir.

1984–2012 yılları arasında yürütülen, 1454 katılımcının yer aldığı ve ortalama 10 yıl takip edilen bir başka kohort çalışmasında ise, diyet kayıtlarına göre tatlandırıcı kullanan bireylerde, kullanmayanlara kıyasla anlamlı şekilde daha yüksek VKİ ve bel çevresi ölçümleri saptanmıştır.

4.5. Sonuç

Tatlandırıcılar ve kilo kontrolü arasındaki ilişki, tek yönlü bir nedensellikten çok, bireysel, genetik, nöroendokrin ve mikrobiyal faktörlerin etkileşimiyle şekillenen karmaşık bir süreçtir. Güncel bilimsel literatür, tatlandırıcıların doğrudan kilo verdirici etkisinden çok, dolaylı mekanizmalarla yeme davranışı, metabolizma ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, tatlandırıcıların uzun vadeli kullanımı bireysel sağlık durumuna, metabolik yatkınlığa ve beslenme alışkanlıklarına göre değerlendirilmelidir.

5. TATLANDIRICILARIN KANSEROJEN POTANSİYELİ

5.1. Giriş

Tatlandırıcılar, son yıllarda artan obezite oranları ve diyabet prevalansı nedeniyle şeker yerine alternatif olarak tercih edilen bileşiklerdir. Düşük kalorili ya da kalorisiz olmaları sebebiyle yaygın bir şekilde diyet ürünlerde kullanılmaktadır. Ancak bu tatlandırıcıların uzun dönemli sağlık etkileri, özellikle de kanser riski ile ilişkileri, bilimsel tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Yapay tatlandırıcıların potansiyel kanserojen etkileri üzerine yapılan çalışmalar, çelişkili bulgular sunmuştur. Bazı araştırmalar bu maddelerin güvenli olduğunu bildirirken, bazıları ise özellikle uzun süreli ve yüksek doz maruziyetin kanser riskini artırabileceğini öne sürmüştür.

Bu bölümde, tatlandırıcıların kanserojen potansiyeli farklı başlıklar altında detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Öncelikle, tatlandırıcıların kanser riskine etkisi üzerine yapılan insan ve hayvan çalışmaları değerlendirilmiş; olası biyolojik mekanizmalar tartışılmıştır. Ardından, endokrin sistem ile ilişkili etkileri ele alınmış ve nihayetinde, ulusal ve uluslararası sağlık otoritelerinin bu konuda yürüttükleri değerlendirmeler aktarılmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında, tatlandırıcıların kanser riski açısından potansiyel etkileri bütüncül bir yaklaşımla sunulmuştur.

5.2. Tatlandırıcılar ve Kanser Riski

Tatlandırıcıların kanser riski üzerindeki etkisi, uzun yıllardır bilimsel tartışmaların odağında yer almakta ve halk sağlığı açısından önemli bir araştırma konusu olarak değerlendirilmektedir. Bu maddeler, şekerin yerini alarak enerji alımını azaltma amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır; ancak, bu kullanımın uzun vadeli sağlık sonuçları üzerine yapılan çalışmalar çelişkili bulgular ortaya koymuştur. Kanserojen potansiyelin değerlendirilmesi amacıyla hem deneysel hem de epidemiyolojik araştırmalar yürütülmüş, özellikle aspartam, sakkarin, sukraloz ve asesülfam-K gibi yaygın tatlandırıcılar üzerine yoğunlaşmıştır.

Tatlandırıcıların kanserojen etkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülen çalışmalar, çoğunlukla iki ana ekseninde toplanmaktadır. İlki, bu tatlandırıcıların biyolojik mekanizmalar yoluyla kanser oluşumuna katkıda bulunup bulunmadığını irdeleyen hücresel ve moleküler çalışmalar; ikincisi ise insan popülasyonlarında tatlandırıcı tüketimi ile kanser görülme sıklığı arasındaki ilişkiyi araştıran epidemiyolojik çalışmalardır. Ancak, bugüne kadar yapılan araştırmalarda kesin bir nedensellik ilişkisi kurulamamıştır. Elde edilen veriler

sıklıkla metodolojik farklılıklar, örneklem büyüklüğü ve kontrol değişkenleri gibi faktörlerden etkilenmiştir.

Özellikle 2022 yılında yayımlanan NutriNet-Santé çalışması, bu tartışmaların yeniden gündeme gelmesine neden olmuştur. Fransa'da yürütülen bu prospektif kohort çalışmasında, 102.865 yetişkinin 2009-2021 yılları arasındaki verileri değerlendirilmiş ve tatlandırıcı tüketimi ile genel kanser riski arasında %13 oranında anlamlı bir artış olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, aspartam tüketiminin meme kanseri ve obezite ile ilişkili kanser türleri üzerinde risk artışına yol açabileceği öne sürülmüştür. Bununla birlikte, araştırmacılar bu bulguların gözlemsel veri üzerine kurulu olduğunu, nedensellik ilişkisini kesin olarak ortaya koymadığını ve beslenme alışkanlıkları, fiziksel aktivite gibi olası değişkenlerin etkilerini tam olarak dışlayamadıklarını vurgulamışlardır.

Yine 2023 yılında, Dünya Sağlık Örgütü'ne bağlı Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), mevcut epidemiyolojik ve toksikolojik verileri inceleyerek aspartamı "insanlar için muhtemel kanserojen" olarak sınıflandırmış ve Grup 2B kategorisine dâhil etmiştir. Bu sınıflandırma, aspartamın hepatoselüler karsinom (karaciğer kanseri) ile olası ilişkisine dayandırılmış, ancak kanıtların sınırlı ve çelişkili olduğu özellikle belirtilmiştir.

Öte yandan, bazı epidemiyolojik araştırmalar tatlandırıcıların kansere neden olduğuna dair güçlü kanıtlar sunmamaktadır. Örneğin, Amerikan Ulusal Kanser Enstitüsü tarafından yapılan bir değerlendirmede, yapay tatlandırıcıların kanser riskini artırdığına dair insan çalışmaları temelinde yeterli kanıt bulunmadığı ifade edilmiştir. Ayrıca, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanan altı tatlandırıcının (aspartam, sakarin, sukraloz, asesülfam-K, neotam ve advantam) güvenliği üzerine yapılan değerlendirmeler, bu maddelerin önerilen günlük alım limitleri içerisinde kullanıldığında halk sağlığı açısından bir risk oluşturmadığını ortaya koymuştur.

Bununla birlikte, mevcut çalışmaların çoğunun sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışmaların bir kısmı bireylerin yaşam tarzı, genel beslenme düzeni ve diğer çevresel faktörler gibi potansiyel değişkenleri yeterince kontrol etmemiştir. Ayrıca, uzun yıllara dayanan tüketim alışkanlıklarını değerlendirmek için kullanılan anketlerin hatırlama yanlılığına açık olması, elde edilen bulguların geçerliliğini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, yapay tatlandırıcıların kanser riski üzerindeki potansiyel etkilerinin daha net bir şekilde ortaya konabilmesi için randomize kontrollü çalışmalar ve daha güçlü kohort analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

5.3. Hayvan Çalışmaları ve Kansere İlişkisi

Hayvan modelleri, tatlandırıcıların potansiyel kanserojen etkilerinin araştırılmasında önemli bir araç olmuştur. Bu çalışmalar, tatlandırıcılara yüksek dozlarda ve uzun süreli maruziyetin tümör oluşumu üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle kemirgenler üzerinde yapılan araştırmalar, bazı tatlandırıcıların kansere neden olabileceğine dair bulgular ortaya koymuştur. Ancak bu sonuçların insanlar için doğrudan geçerli olup olmadığı bilimsel olarak tartışmalıdır.

5.3.1 Hayvan Çalışmalarında Tatlandırıcı Tüketimi ve Kansere İlişkisinin Belirlenmesi

Tatlandırıcıların kanser riski ile ilişkisini inceleyen hayvan çalışmaları arasında en dikkat çekici olanlardan biri, Ramazzini Enstitüsü tarafından 2005 yılında gerçekleştirilen çalışmadır. Bu çalışmada, sıçanlara yaşam boyu düşük dozlarda aspartam verilmiş ve özellikle dişi sıçanlarda lösemi ve lenfoma insidansında artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, aspartamın potansiyel kanserojen etkileri hakkında önemli tartışmalara yol açmıştır. Ancak, çalışma metodolojisi eleştirilmiş ve diğer bağımsız araştırmalar bu bulguları tutarlı şekilde doğrulayamamıştır.

Bir diğer önemli çalışma, 1970'li yıllarda sakkarin üzerine yapılan hayvan deneyleridir. Sıçanlara yüksek dozda sakkarin verildiğinde mesane kanseri oluşumunun arttığı rapor edilmiştir. Bu bulgular üzerine sakkarin, bir dönem potansiyel kanserojen olarak sınıflandırılmış ve bazı ülkelerde kullanımına sınırlamalar getirilmiştir. Ancak daha sonraki araştırmalar, sıçanlarda gözlemlenen bu mesane kanseri vakalarının insanlara doğrudan uygulanabilir olmadığını, bu etkinin sıçanlara özgü bir mekanizma ile gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

Sukraloz üzerine yapılan hayvan çalışmalarında ise benzer şekilde tartışılabilir sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, Mantovani ve ark.'nın 2016 yılında fareler üzerinde yaptığı çalışmada, yüksek doz sukraloz maruziyetinin hematopoietik neoplazilerde artış ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Ancak, bu bulguların insanlar açısından anlamlı olup olmadığı konusunda kesin bir yargıya varılamamıştır.

5.3.2. Potansiyel Kanserojen Etkilerin İncelenmesi

Hayvan çalışmalarından elde edilen veriler, tatlandırıcıların potansiyel kanserojen etkileri hakkında ipuçları sunmaktadır. Ancak, bu çalışmaların insanlara doğrudan uygulanabilirliği sınırlıdır. Tatlandırıcıların metabolizması türler arasında farklılık gösterebilir ve hayvanlarda gözlemlenen kanserojen etkiler, insan fizyolojisinde benzer şekilde ortaya çıkmayabilir. Ayrıca, hayvan çalışmaları genellikle yüksek doz maruziyet üzerine kurgulandığı için, insan tüketimiyle kıyaslandığında maruz kalınan miktarlar gerçekçi değildir. Bu nedenle, hayvan modellerinde elde edilen bulgular, insan sağlığı açısından potansiyel riskleri değerlendirmede dikkatle yorumlanmalıdır.

5.4. İnsan Çalışmaları ve Kanser Riski

Tatlandırıcıların kanserojen potansiyeline ilişkin en önemli değerlendirme araçlarından biri, insan popülasyonlarında gerçekleştirilen epidemiyolojik çalışmalardır. Bu çalışmalar, yapay tatlandırıcı tüketimi ile kanser insidansı arasındaki olası ilişkiyi ortaya koymayı amaçlamakta ve gözlemsel veriler üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Ancak, bugüne kadar yürütülen araştırmaların sonuçları çelişkili olup, nedensellik ilişkisini net biçimde ortaya koyabilecek güçlü kanıtlara ulaşılamamıştır.

5.4.1. Epidemiyolojik Çalışmalar

Tatlandırıcıların kanser riski ile ilişkisinin araştırıldığı en kapsamlı epidemiyolojik çalışmalardan biri, Fransa'da yürütülen NutriNet-Santé çalışmasıdır. 2022 yılında yayımlanan bu prospektif kohort çalışmasında, 102.865 yetişkin birey 2009-2021 yılları arasında izlenmiş ve tatlandırıcı tüketimi ile genel kanser riski arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, yüksek yapay tatlandırıcı tüketimi, genel kanser riskinde %13 oranında artışla ilişkilendirilmiştir. Özellikle aspartam ve asesülfam-K tüketiminin, meme kanseri ve obezite ile ilişkili kanser türlerinde risk artışıyla bağlantılı olduğu bildirilmiştir.

Benzer şekilde, 2019 yılında Haighton ve ark. tarafından yapılan bir sistematik derlemede, tatlandırıcıların kanser riski ile ilişkisini değerlendiren çok sayıda epidemiyolojik çalışma analiz edilmiştir. Bu derleme çalışmasında, mevcut verilerin aspartam ve diğer tatlandırıcıların kanser riski üzerinde belirgin bir etki göstermediği sonucuna varılmıştır.

5.4.2. Uzun Vadeli Etkiler ve Kanser Olasılığı

Tatlandırıcı tüketiminin uzun vadeli etkilerini değerlendiren çalışmalar, genellikle prospektif kohort çalışmalarıdır. Bu tür çalışmaların amacı, uzun süreli tatlandırıcı tüketiminin kanser gelişimi üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Ancak, bu çalışmalarda elde edilen bulgular sıklıkla karışık ve tutarsızdır. Örneğin, 2023 yılında Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından yayımlanan değerlendirmede, aspartamın “insanlar için muhtemel kanserojen” (Grup 2B) olarak sınıflandırıldığı belirtilmiştir. Bu sınıflandırma, epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen sınırlı kanıtlara dayanmaktadır. Özellikle hepatoselüler karsinom ile aspartam tüketimi arasında olası bir ilişki olabileceği ifade edilmiştir.

Öte yandan, Amerikan Ulusal Kanser Enstitüsü (NCI) tarafından yapılan değerlendirmelerde, mevcut epidemiyolojik verilerin yapay tatlandırıcı tüketimi ile kanser riski arasında güçlü bir nedensellik ilişkisi ortaya koymadığı bildirilmiştir. Yapay tatlandırıcıların onaylanmış günlük alım sınırları içerisinde kullanımıyla ilgili insan çalışmalarında anlamlı bir risk artışı gözlemlenmemiştir.

5.4.3. Belirli Kanser Türleri ile İlişkiler

İnsan çalışmaları, tatlandırıcı tüketimi ile belirli kanser türleri arasındaki olası ilişkileri de incelemiştir. NutriNet-Santé çalışmasında, aspartam tüketiminin özellikle meme kanseri ve obezite ile ilişkili kanser türleri için risk artışıyla bağlantılı olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, IARC değerlendirmesinde de hepatoselüler karsinom ile tatlandırıcı tüketimi arasında potansiyel bir ilişki olabileceği vurgulanmıştır.

Bununla birlikte, bazı meta-analiz ve derleme çalışmaları, yapay tatlandırıcı tüketimi ile kanser riski arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığını öne sürmektedir. Örneğin, Haighton ve ark.'nın çalışmasında, tatlandırıcı tüketimi ile çeşitli kanser türleri arasındaki ilişkinin tutarsız ve sınırlı olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle, tatlandırıcıların belirli kanser türleri üzerindeki etkilerini netleştirmek için daha fazla prospektif çalışma ve randomize kontrollü araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

5.5. Tatlandırıcılar ve Endokrin Sistem

Tatlandırıcıların sağlık üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, yalnızca kanser riski değil, aynı zamanda endokrin sistem üzerindeki olası etkileri de dikkate alınmaktadır. Endokrin sistem; büyüme, üreme, enerji metabolizması ve hücrel farklılaşma gibi birçok temel fizyolojik sürecin düzenlenmesinde kritik

rol oynayan hormonları üretir ve salgılar. Bu nedenle, hormonal dengede meydana gelen bozulmalar, uzun vadede çeşitli kronik hastalıkların, özellikle de hormon duyarlı kanser türlerinin gelişiminde etkili olabilmektedir. Yapay tatlandırıcıların, endokrin bozucu kimyasallar olarak hareket etme potansiyeline sahip olup olmadığına dair yürütülen çalışmalar, özellikle son yıllarda artış göstermiştir.

5.5.1. Hormon Düzeyleri ve Kanser Riski

Hormon düzeyleri üzerindeki etkileri konusunda yürütülen araştırmalar farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Bazı çalışmalar, bu tatlandırıcıların özellikle pankreatik hormonlar üzerinde etkili olabileceğini ve insülin metabolizmasını değiştirebileceğini bildirmiştir. Örneğin, Pepino tarafından yapılan derlemede, sukraloz tüketiminin insülin yanıtını artırabileceği ve glukoz metabolizmasında değişikliklere yol açabileceği ifade edilmiştir. Bu durum, obezite, insülin direnci ve tip 2 diyabet gibi endokrin bozukluklara zemin hazırlayabileceği gibi, dolaylı yoldan meme, over ve prostat kanseri gibi hormonla ilişkili kanser türlerinin riskini de artırma potansiyeli taşımaktadır.

Benzer şekilde, Schiffman ve Nagle tarafından yapılan bir çalışmada, özellikle yüksek dozda tatlandırıcı tüketiminin hipotalamus-hipofiz-adrenal aksında bozulmalara yol açabileceği ve kortizol gibi hormonların dengesini etkileyebileceği bildirilmiştir. Kronik stres yanıtı ve hormonal dengesizlikler, kanserojen süreçlerin başlatılmasında önemli faktörler arasında yer almaktadır. Ancak bu çalışmaların çoğu hayvan modelleri veya küçük örneklemlili insan çalışmalarına dayandığı için, elde edilen bulguların genellenebilirliği sınırlıdır.

5.5.2. Östrojenik Etkiler ve Kanser

Tatlandırıcıların östrojenik aktivite gösterip göstermediği konusu da endokrin kanserleri açısından önem taşımaktadır. Özellikle meme kanseri gibi östrojen reseptörü pozitif tümörlerin gelişiminde, dış kaynaklı östrojenik bileşiklerin rolü uzun süredir araştırılmaktadır. Bazı in vitro çalışmalar, yapay tatlandırıcıların östrojen reseptörlerine bağlanabilme potansiyelini değerlendirmiş, ancak bu çalışmaların çoğu kesin bir östrojenik aktivite göstermemiştir.

Öte yandan, 2023 yılında kapsamlı bir incelemede, bazı tatlandırıcıların bağırsak mikrobiyotasını olumsuz etkileyerek östrojen metabolizmasını dolaylı yoldan değiştirebileceği öne sürülmüştür. Bağırsak mikrobiyotasında meydana gelen bu tür değişimler, östrojen dolaşımını etkileyerek meme kanseri riskini

artırabilecek bir mekanizma olarak değerlendirilmiştir. Ancak, mevcut insan çalışmaları bu hipotezi destekleyecek nitelikte yeterli veri sunmamaktadır.

Genel olarak bakıldığında, tatlandırıcıların endokrin sistemi etkileyerek hormon dengesini bozabileceği, insülin metabolizmasını değiştirebileceği ve dolaylı yoldan hormon bağımlı kanser türlerinin gelişiminde rol oynayabileceği düşünülmektedir. Ancak, bu konuda yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup, mevcut bulgular kesin sonuçlar çıkarılmasına olanak vermemektedir. Yapay tatlandırıcıların endokrin sistem üzerindeki uzun vadeli etkilerinin net bir şekilde ortaya konabilmesi için geniş örneklemler, prospektif insan çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

5.6. Regülasyonlar ve Sağlık Otoritelerinin Görüşleri

Tatlandırıcıların güvenliği ve potansiyel sağlık riskleri, ulusal ve uluslararası sağlık otoriteleri tarafından titizlikle incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler, mevcut bilimsel kanıtların kapsamlı analizlerine dayanarak, tatlandırıcıların kullanımına yönelik düzenlemelerin oluşturulmasına rehberlik etmektedir. Özellikle aspartam gibi yaygın kullanılan tatlandırıcılar, çeşitli sağlık otoritelerinin dikkatini çekmiş ve farklı değerlendirmelere tabi tutulmuştur.

5.6.1. EFSA ve FDA Değerlendirmeleri

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), 2013 yılında aspartamın güvenliği üzerine kapsamlı bir yeniden değerlendirme gerçekleştirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, aspartamın belirlenen kabul edilebilir günlük alım (ADI) düzeyleri dahilinde tüketildiğinde güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. EFSA, mevcut bilimsel verilerin aspartamın genotoksik veya kanserojen etkileri olduğuna dair bir kanıt sunmadığını belirtmiştir. Bu nedenle, aspartamın gıda katkı maddesi olarak kullanımının mevcut koşullar altında insan sağlığı açısından risk teşkil etmediği ifade edilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) de aspartamın güvenliği konusunda benzer bir tutum sergilemiştir. FDA, aspartamın gıda katkı maddesi olarak kullanımını ilk olarak 1974 yılında onaylamış ve o tarihten bu yana yapılan bilimsel çalışmaların sonuçlarına dayanarak, aspartamın belirlenen kullanım koşulları altında genel popülasyon için güvenli olduğunu belirtmiştir. FDA'nın değerlendirmeleri, aspartamın kanserojen etkileri olduğuna dair yeterli bilimsel kanıt bulunmadığını göstermektedir.

5.6.2. Kanser Riski Üzerine Yapılan Güncel Araştırmaların Etkisi

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) bağlı Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), 2023 yılında aspartamın kanserojen potansiyelini değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, aspartam "insanlar için muhtemel kanserojen" (Grup 2B) olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, aspartamın insanlarda kanserojen etkilerine dair sınırlı kanıtların bulunmasına dayanmaktadır. Aynı zamanda, WHO ve Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) ortak uzman komitesi olan JECFA, aspartamın kabul edilebilir günlük alım düzeyini 40 mg/kg vücut ağırlığı olarak yeniden teyit etmiştir. Bu değerlendirmeler, aspartamın mevcut kullanım koşulları altında tüketiminin genel popülasyon için güvenli olduğunu, ancak yüksek dozlarda ve uzun süreli maruziyetin potansiyel riskler taşıyabileceğini göstermektedir.

Bu farklı değerlendirmeler tatlandırıcıların güvenliği konusunda bilimsel toplulukta devam eden tartışmaları yansıtmaktadır. Sağlık otoriteleri, mevcut bilimsel kanıtları sürekli olarak gözden geçirmekte ve yeni araştırmalar ışığında değerlendirmelerini güncellemektedir.

5.7. Sonuç

Tatlandırıcıların kanserojen potansiyeli üzerine yapılan araştırmalar, bugüne kadar kesin bir sonuca ulaşamamış ve bulgular çelişkili kalmıştır. Hem hayvan deneyleri hem de insan çalışmaları, özellikle yüksek dozlarda ve uzun süreli maruziyet koşullarında bazı risklerin olabileceğine işaret etmiş; ancak, bu risklerin genel popülasyon düzeyinde anlamlı olup olmadığı konusunda net bir uzlaşma sağlanamamıştır. Hayvan modellerinde elde edilen bulgular, sıklıkla insan fizyolojisine doğrudan uyarlanamayacak nitelikte olup, yüksek doz maruziyetlere dayanmaktadır. İnsan epidemiyolojik çalışmaları ise gözlemsel nitelikleri nedeniyle nedensellik ilişkisini kesin olarak ortaya koyamamaktadır.

Endokrin sistem üzerindeki olası etkiler kanser riski açısından önemli bir araştırma alanı olmasına rağmen, bu alandaki veriler sınırlı ve çoğunlukla ön bulgu niteliğindedir. Bazı tatlandırıcıların hormonal dengeyi bozabileceğine dair bazı hipotezler öne sürülmüş olsa da, bu iddiaları destekleyecek yeterli sayıda, uzun süreli, prospektif insan çalışması bulunmamaktadır.

Sağlık otoritelerinin değerlendirmeleri de benzer şekilde ihtiyatlı bir yaklaşımı benimsemiştir. EFSA ve FDA gibi kurumlar, tatlandırıcıların mevcut kullanım koşullarında halk sağlığı açısından güvenli olduğunu bildirmiştir.

Bununla birlikte, IARC tarafından yapılan sınıflandırma, özellikle aspartam için dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymuştur.

Tüm bu bulgular ışığında, tatlandırıcıların kanser riski açısından kesin bir tehdit oluşturduğunu söylemek mümkün değildir. Ancak, mevcut verilerin sınırlılıkları göz önüne alındığında, özellikle yüksek dozda ve uzun süreli tüketimin olası sağlık etkilerinin göz ardı edilmemesi gerektiği düşünülmektedir. Tatlandırıcıların potansiyel kanserojen etkilerinin daha net bir şekilde ortaya konabilmesi için uzun dönemli, randomize kontrollü, geniş örneklemlerli insan çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

6. TATLANDIRICILARIN NÖROLOJİK VE PSİKOLOJİK ETKİLERİ

6.1. Giriş

Tatlandırıcılar, şeker yerine kalorisiz veya düşük kalorili alternatifler olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diyabet, obezite ve diş sağlığı gibi durumlarda kullanımıyla nörolojik ve psikolojik sağlık üzerindeki potansiyel etkileri son yıllarda yoğun şekilde tartışılmaktadır. Yapılan çalışmalar, bu bileşiklerin beyin aktivitesi, ödül mekanizmaları, bağımlılık potansiyeli, yeme davranışı, tat algısı, depresyon ve anksiyete gibi psikolojik durumlarla ilişkilendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bölümde, tatlandırıcıların nörolojik ve psikolojik etkileri, güncel bilimsel çalışmalar ışığında ele alınacaktır.

6.2. Beyin Aktivitesi, Dopamin Salınımı ve Bağımlılık Mekanizmaları

Tatlandırıcıların nörolojik etkileri üzerine yapılan araştırmaların odak noktalarından biri, bu maddelerin beyin ödül sistemine etkisidir. Doğal şeker tüketildiğinde, tatlı tadın beyinde dopamin salınımı yoluyla ödül hissi yarattığı bilinmektedir. Ancak tatlandırıcılar kalori sağlamadan tatlılık algısı oluşturduklarından, dopamin salınımını aynı ölçüde tetikleyememekte, bu durum beyinin ödül beklentisini karşılamamakta ve tatlıya olan isteğin artmasına yol açabilmektedir.

Hayvan modellerinde yapılan çalışmalarda, sukralaz gibi tatlandırıcıların hipotalamus bölgesindeki aktiviteyi artırdığı, açlık hissini tetikleyebileceği ve yeme davranışını etkileyebileceği gösterilmiştir. Bu bulgular, tatlandırıcıların dopamin salınımı yoluyla bağımlılık benzeri bir mekanizma oluşturabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, bu mekanizma tat algısında değişim ve aşırı tatlı gıda tüketimine yönelimle sonuçlanabilir.

6.3. Tat Algısının Değişimi ve Yeme Davranışına Etkisi

Tatlandırıcıların tat algısı ve yeme davranışı üzerindeki etkileri de literatürde sıklıkla ele alınmaktadır. Bu tatlandırıcılar, doğal şekerlerden çok daha yoğun tatlılık hissi sağlamakta, bu durum çocuklar ve yetişkinler arasında tatlıya olan hassasiyetin azalmasına ve doğal olarak tatlı olan gıdaların yetersiz tatlı olarak algılanmasına neden olabilmektedir.

Ayrıca, yapılan bazı araştırmalar, yapay tatlandırıcı tüketiminin kısa vadede enerji alımını sınırlayabileceğini, ancak uzun vadede iştah artışı, yeme davranışlarında düzensizlik ve kilo artışı ile sonuçlanabileceğini göstermiştir. Bu durum, tatlılık algısı ile enerji alımı arasındaki doğal dengenin yapay tatlandırıcılar tarafından bozulabileceğini ortaya koymaktadır.

6.4. Depresyon ve Anksiyete ile Bağlantısı

Yapay tatlandırıcıların psikolojik sağlık üzerindeki etkileri, özellikle depresyon ve anksiyete bozuklukları ile olası ilişkileri açısından da araştırılmıştır. İnsanlarda yapılan gözlemsel çalışmalar, yüksek miktarda yapay tatlandırıcı tüketiminin depresyon riskini artırabileceğini öne sürmektedir. Bunun yanı sıra, McMurray ve ark.'nın (2022) yaptığı bir hayvan çalışmasında, aspartam tüketiminin anksiyete benzeri davranışları artırdığı ve bu etkinin nesiller boyu devam edebileceği bildirilmiştir.

Tatlandırıcıların anksiyete ve depresyon riskine katkıda bulunabileceği mekanizmalardan biri, bu maddelerin fenilalanin, aspartik asit gibi nöroaktif bileşenler içermesi nedeniyle sinir sistemi işlevini etkileyebileceği yönündeki hipotezdir. Ancak bu bulguların insan popülasyonuna ne ölçüde uygulanabileceği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

6.5. Sonuç

Yapay tatlandırıcıların nörolojik ve psikolojik etkileri üzerine yapılan bilimsel çalışmalar, bu maddelerin beyin ödül sistemi, dopamin salınımı, bağımlılık potansiyeli, tat algısı, yeme davranışı, depresyon ve anksiyete gibi alanlarda etkili olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut veriler çelişkili olup, çoğu çalışma hayvan modellerine veya kısa süreli insan gözlemlerine dayanmaktadır. Yapay tatlandırıcıların uzun vadeli nörolojik ve psikolojik etkilerini net bir şekilde ortaya koyabilmek için geniş örneklemli, prospektif insan çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bulgular,

tatlandırıcıların yalnızca enerji dengesi açısından değil, aynı zamanda nörolojik sağlık bağlamında da dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

7. TATLANDIRICILARIN ÇOCUKLAR VE ERGENLERDE KULLANIMI

7.1. Giriş

Tatlandırıcılar, şekerin yerine kullanılmak üzere geliştirilmiş düşük kalorili veya kalorisiz bileşikler olup, günümüzde çocuklar ve ergenler tarafından yaygın şekilde tüketilmektedir. Özellikle obezite, diyabet ve diş çürükleri gibi sağlık sorunlarının önlenmesine yönelik olarak pazarlanan tatlandırıcı içeren ürünler, çocuk beslenmesinde giderek daha fazla yer bulmaktadır. Bununla birlikte, çocukluk ve ergenlik dönemleri, büyüme ve gelişmenin en hızlı gerçekleştiği, hormonal ve metabolik sistemlerin şekillendiği hassas bir dönemdir. Bu nedenle, bu yaş grubunda tatlandırıcı tüketiminin kısa ve uzun vadeli etkileri, son yıllarda bilimsel araştırmaların odak noktası hâline gelmiştir.

Bu bölümde, tatlandırıcıların çocuklar ve ergenlerdeki potansiyel etkileri gelişim dönemi etkileri, büyüme hormonları ve metabolik süreçler üzerindeki etkileri ve uzun vadeli sağlık riskleri çerçevesinde ele alınacaktır.

7.2. Gelişim Dönemi Etkileri

Çocukluk ve ergenlik dönemleri, bireyin büyüme, hormonal gelişim, bilişsel işlevler ve beslenme alışkanlıklarının şekillendiği kritik evrelerdir. Bu dönemde beslenme alışkanlıkları, yaşam boyu sürecek sağlık sonuçları üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Yapılan çalışmalar, tatlandırıcıların çocuk ve ergenlerde tat algısı, besin tercihleri ve yeme davranışı üzerinde değişikliklere yol açabileceğini göstermektedir. Özellikle erken yaşta tatlandırıcı tüketiminin tatlıya olan hassasiyeti azaltabileceği, çocukların tatlı gıdalara yönelimini artırabileceği ve uzun vadede aşırı enerji alımına yol açabileceği bildirilmiştir.

Tatlandırıcıların çocuklarda enerji dengesini etkileyebileceği de ileri sürülmektedir. Tatlılık algısı ile enerji alımı arasındaki dengenin bozulması, çocukların enerji alımını düzenleme yeteneğini zayıflatabilir. Yapay tatlandırıcıların düşük kalorili olmalarına rağmen tatlılık hissi yaratmaları, çocuklarda açlık hissinin artmasına ve dolaylı olarak fazla gıda tüketimine neden olabilmektedir.

7.3. Büyüme Hormonları ve Metabolik Süreçler

Tatlandırıcıların büyüme hormonları ve metabolik süreçler üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, elde edilen veriler bazı potansiyel riskleri işaret etmektedir. Özellikle yapay tatlandırıcıların bağırsak mikrobiyotasını etkileyerek metabolik süreçleri bozabileceği öne sürülmüştür. Suez ve ark.'nın (2014) yürüttüğü bir çalışmada, tatlandırıcı tüketiminin bağırsak mikrobiyotasında disbiyozis yarattığı, bunun da glukoz intoleransına yol açabileceği gösterilmiştir.

Ayrıca, tatlandırıcıların insülin sekresyonu, leptin üretimi ve büyüme hormonu düzenlemesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği ileri sürülmektedir. Bu etkiler, çocuk ve ergenlerde enerji metabolizmasını bozarak büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkileyebilir. Bununla birlikte, mevcut çalışmaların çoğunun yetişkin bireyler üzerinde gerçekleştirildiği ve çocuk popülasyonuna özgü verilerin yetersiz olduğu dikkate alınmalıdır.

7.4. Uzun Vadeli Sağlık Riskleri

Tatlandırıcıların çocuklar ve ergenlerde uzun vadeli sağlık etkilerine ilişkin çalışmalar çoğunlukla gözlemsel nitelikte olup, sonuçları çelişkilidir. Bazı epidemiyolojik çalışmalar, çocukluk döneminde tatlandırıcı tüketiminin ilerleyen yaşlarda obezite, tip 2 diyabet ve metabolik sendrom riskini artırabileceğini göstermektedir. Ayrıca, tatlandırıcı tüketiminin bağırsak mikrobiyotasında kalıcı değişimlere yol açabileceği, bunun da kardiyometabolik hastalık riskini artırabileceği ileri sürülmüştür.

Bununla birlikte, bazı çalışmalar, tatlandırıcıların çocukluk çağında kilo kontrolüne yardımcı olabileceğini savunmaktadır. Ancak bu bulgular, genellikle kısa süreli çalışmalara dayandığı için uzun vadeli etkilerinin anlaşılabilmesi konusunda yetersizdir. Sağlık otoriteleri de bu konuda kesin bir görüş birliğine varamamış, daha fazla uzun dönemli prospektif çalışmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır.

7.5. Çocuklar ve Ergenlerde Tatlandırıcı Tüketimi: Sağlık Kuruluşlarının Görüşleri

Sağlık otoriteleri, tatlandırıcıların çocuklar ve ergenler üzerindeki etkileri konusunda tedbirli bir yaklaşım şekli benimsemektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2022 yılında yayımladığı kılavuzunda, düşük kalorili tatlandırıcıların çocuklarda rutin kullanımının, obezite ya da metabolik hastalık riskini azaltmada yeterli kanıt sunmadığını belirtmiştir. Amerikan Pediatri Akademisi (AAP) ise

çocuklarda tatlandırıcı kullanımının besin tercihleri, iştah düzenlemesi ve genel sağlık üzerindeki potansiyel etkilerine dikkat çekerek, tatlandırıcı içeren ürünlerin çocuk beslenmesinde yer almaması gerektiğini ifade etmiştir.

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) ise tatlandırıcıların önerilen günlük alım sınırları çerçevesinde güvenli olduğunu bildirmekle birlikte, çocuklar ve ergenler için bu sınırların aşılmaması gerektiğini vurgulamaktadır. Mevcut değerlendirmeler, çocukluk ve ergenlik döneminde tatlandırıcı tüketiminin sağlık üzerindeki etkileri konusunda daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

7.6. Sonuç

Tatlandırıcıların çocuklar ve ergenler tarafından tüketiminin sağlık üzerindeki etkileri, günümüzde giderek artan bir ilgiyle araştırılmaktadır. Mevcut çalışmalar, bu yaş grubunda tatlandırıcı tüketiminin tat algısı, beslenme davranışı ve enerji dengesini etkileyebileceği ile bağırsak mikrobiyotası, metabolik süreçler ve hormonal denge üzerinde potansiyel olumsuz sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir. Özellikle çocukluk döneminde edinilen beslenme alışkanlıklarının yaşam boyu sürdüğü düşünüldüğünde, tatlandırıcı tüketiminin uzun vadeli etkileri büyük önem taşımaktadır.

Bununla birlikte, mevcut çalışmaların çoğu gözlemsel nitelikte olup, metodolojik sınırlılıklar taşımaktadır. Bu nedenle, tatlandırıcıların çocuklar ve ergenler üzerindeki uzun vadeli sağlık etkilerini net bir şekilde ortaya koyabilmek için daha fazla randomize kontrollü çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık otoriteleri tarafından yapılan değerlendirmeler, bu maddelerin önerilen sınırlar içinde tüketilmesinin güvenli olduğunu belirtmekle birlikte, çocukluk çağında gereksiz tatlandırıcı tüketiminin teşvik edilmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bilimsel verilerin ışığında, çocukların sağlıklı beslenme alışkanlıkları edinmesi ve doğal gıdaların tercih edilmesi, uzun vadeli sağlık açısından daha uygun bir yaklaşım olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Önder, H., & Yüksel Aydar, A. (2022). Şekerleme Üretiminde Kullanılan Hammaddeler ve Fonksiyonel Yumuşak Şekerleme Üretimi. *Aydın Gastronomi*, 65-78.
- Adam, A. A., Altalhi, T. A., Saad, H. A., Alsuhaibani, A. M., & Refat, M. S. (2021). Charge-transfer interaction of aspartame and neotame with several π -acceptors: Stoichiometric data. *Data Brief*, 107092. doi: 10.1016/j.dib.2021.107092.
- Aguayo-Guerrero, J. A., Méndez-García, L. A., Solleiro-Villavicencio, H., Viurcos-Sanabria, R., & Escobedo, G. (2024). Sucralose: From Sweet Success to Metabolic Controversies-Unraveling the Global Health Implications of a Pervasive Non-Caloric Artificial Sweetener. *Life (Basel)*, 14(3), 323. doi: 10.3390/life14030323.
- AlDeeb, O. A., Mahgoub, H., & Foda, N. H. (2013). Sucralose. *Profiles Drug Subst Excip Relat Methodol*, 423-462. doi: 10.1016/B978-0-12-407691-4.00010-1.
- Altuğ, T., & Elmacı, Y. (2001). *Tatlandırıcılar "T. Altuğ (Editör) Gıda Katkı maddeleri"*. İzmir: Meta Basım.
- Amin, K. A., Al-muzafar, H. M., & Abd Elsttar, A. H. (2016). Effect of sweetener and flavoring agent on oxidative indices, liver and kidney function levels in rats. *Indian J Exp Biol.*, 56-63.
- Ardalan, M. R., Tabibi, H., Attari, V. E., & Mahdavi, A. M. (2017). Nephrotoxic Effect of Aspartame as an Artificial Sweetener. *Iranian Journal of Kidney Diseases*, 11(5), 339-343.
- Avluoğlu Yılmaz, E., Mamur, S., Erikel, E., Yüzbaşıoğlu, D., & Ünal, F. (2022). Laktitolün Genotoksik ve Sitotoksik Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 3(2), 133 - 143.
- Aydın, Ö., Öney, B., & Koçak, B. (2022). Doğal ve Yapay Tatlandırıcıların Sağlık Üzerine Etkileri. *Atlas Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Dergisi*(3).
- Basson, A. R., Rodriguez-Palacios, A., & Cominelli, F. (2021). Artificial Sweeteners: History and New Concepts on Inflammation. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.746247>.
- Bernardo, W. M., Simões, R. S., Buzzini, R. F., Nunes, V. M., & Glina, F. A. (2016). Adverse effects of the consumption of artificial sweeteners - Systematic review. *Revista Da Associação Medica Brasileira*, 62(2), 120-122. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.62.02.120>.

- Bian, X., Chi, L., Gao, B., Tu, P., Ru, H., & Lu, K. (2017). The artificial sweetener acesulfame potassium affects the gut microbiome and body weight gain in CD-1 mice. *PLoS One*, *12*(6), e0178426. doi: 10.1371/journal.pone.0178426.
- Bopp, B. A., Sonders, R. C., & Kesterson, J. W. (1986). Toxicological aspects of cyclamate and cyclohexylamine. *Crit Rev Toxicol*, 213–306.
- Bucher Della Torre, S., Keller, A., Laure Depeyre, J., & Kruseman, M. (2016). Sugar-Sweetened Beverages and Obesity Risk in Children and Adolescents: A Systematic Analysis on How Methodological Quality May Influence Conclusions. *J Acad Nutr Diet*, *116*, 638-665.
- Budak, G., & Tezcan, E. (2019). Gıdalarda Sıklıkla Kullanılan Doğal ve Yapay Tatlandırıcıların Sağlık Üzerine Etkileri. *Journal of Health and Sport Sciences (JHSS)*, *2*(3), 74-78.
- Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2017). Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*, 302-317.
- Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., ChávezMuñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., . . . Ahmad, M. Z. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.1309>.
- Chattopadhyay, S., & Raychaudhuri, U. (2014). Artificial sweeteners - a review. *J Food Sci Technol*, *51*(4), 611-621. doi: 10.1007/s13197-011-0571-1.
- Chen, B. R., Liu, Q., Wang, H., Gao, Z. Y., Siddeeg, A., & Zhu, S. M. (2020). Purification, characterization, and identification of 3-hydroxy-4-methoxy benzal acrolein-an intermediate of synthesizing advantame. *Food Sci Nutr*, *8*(2), 44-753. doi: 10.1002/fsn3.1307.
- Czarnecka, K., Pilarz, A., Rogut, A., Maj, P., Szymańska, J., Olejnik, Ł., & Szymański, P. (2021). Aspartame-True or False? Narrative Review of Safety Analysis of General Use in Products. *Nutrients*, *13*(6), 1957. doi: 10.3390/nu13061957.
- De Cock, P. (2005). Erythritol: A novel noncaloric sweetener with an excellent taste profile. *Caries Research*, *39*(2), 114–116. <https://doi.org/10.1159/000083152>.
- Deis, R. C., & Kearsley, M. W. (2012). Sorbitol and Mannitol . *Biochemistry*, DOI:10.1002/9781118373941.ch15.
- Del Pozo, S., Gómez-Martínez, S., Díaz, L. E., Nova, E., Urrialde, R., & Marcos, Y. (2022). Potential Effects of Sucralose and Saccharin on Gut Microbiota: A Review. *Nutrients*, *14*(8), 1682. doi: 10.3390/nu14081682.

- DuBois, G. E. (2012). Molecular mechanisms of sweet taste reception. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(6), 1366–1373.
- Duman, E., Keser, A., & Yılmaz Işıkhhan, S. (2022). Fare ve Ratlarda Yapay Tatlandırıcıların Bağırsak Mikrobiyotası Üzerine Etkisi: Randomize Kontrollü Çalışmaların Sistematik Derlemesi. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 31(2), 99-110 doi:10.17827/aktd.1039222.
- EFSA. (2011). Scientific opinion on the re-evaluation of polyols (E965(i) maltitol, E965(ii) maltitol syrup) as food additives. *EFSA Journal*, 9(6), 2174.
- EFSA. (2013). Scientific Opinion on the re-evaluation of aspartame (E 951) as a food additive. *EFSA Journal / EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS)*.
- EFSA. (2015). Scientific opinion on the re-evaluation of erythritol (E 968) as a food additive. *EFSA Journal*, 13(7), 4135.
- EFSA. (2023). Call for data on genotoxicity data on maltitol (E965). *European Food Safety Authority*.
- EFSA. (2025). Re-evaluation of neotame (E 961) as food additive. *EFSA J*, 4(23), e9480. doi: 10.2903/j.efsa.2025.9480.
- Eryaşar Örer, K., & Karasu Yalçın, S. (2018). Mikrobiyel Ksilitol Üretiminde Hemiselülozik Hidrolizatların Kullanımı. *The Journal of Food*, 151-162 doi: 10.15237/gida.342722.
- FDA. (2014). Additional information about high-intensity sweeteners permitted for use in food in the United States. *U.S. Food and Drug Administration*.
- FDA. (2019). *GRAS Notice No. GRN 000023: Erythritol*. U.S. Food and Drug Administration.
- Fitch, C., & Keim, K. S. (2012). Academy of Nutrition and Dietetics. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: use of nutritive and nonnutritive sweeteners. *J Acad Nutr Diet.*, 739-758. doi: 10.1016/j.jand.2012.03.009.
- Fitzgerald, R. J., Dekker, M., & Stitt, M. (2022). Advances in the production and applications of sugar alcohols. *Trends in Food Science & Technology*, 455–467.
- Gardner, C., Wylie-Rosett, J., Gidding, S. S., Steffen, L., Johnson, R., Reader, D., & Lichtenstein, A. H. (2012). Nonnutritive sweeteners: Current use and health perspectives. *Diabetes Care*, 35(8), 1798–1808.
- Gembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology*, 241(1), 1–14.

- Goossens, J., & Röper, H. (1994). Erythritol: A new sweetener. *Food Technology*, 48(11), 84–91.
- Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology*, 241(1), 1–14.
- Grotz, V. L., & Munro, I. C. (2009). An overview of the safety of sucralose. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 55(1), 1–5.
- Hert, K. A., Fisk, P. S., Rhee, Y. S., & Brunt, A. R. (2014). Decreased consumption of sugar-sweetened beverages improved selected biomarkers of chronic disease risk among US adults: 1999 to 2010. *Nutr Res.*, 34(1), 58-65. doi: 10.1016/j.nutres.2013.10.005.
- İşğören, A., & Sungur, S. (2019). Tatlandırıcılar. *Lectio Scientific Journal of Health and Natural Sciences*, 3(1), 19-32.
- Ünal, D. (2011). Farklı oranlarda laktitol ve sakkaroz ilavesiyle hazırlanan tekirdağ peynir helvalarının bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ.*
- Jeya, M., Lee, K. M., Kim, J. S., Kim, S. Y., & Lee, J. K. (2009). Enhanced production of erythritol by *Candida magnoliae* in fed-batch fermentation. *Bioresource Technology*, 100(1), 185–187.
- Kim, J. H., Jeong, H., Choo, Y. H., Kim, M., Ha, E. J., Oh, J., . . . Park, S. H. (2023). Optimizing Mannitol Use in Managing Increased Intracranial Pressure: A Comprehensive Review of Recent Research and Clinical Experiences. *Korean J Neurotrauma*, 19(2), 162-176. doi: 10.13004/kjnt.2023.19.e25.
- Koutsou, G., Storey, D. M., Lee, A., Zumbe, A., & Flourié, B. (1996). Dose-related gastrointestinal response to the ingestion of either isomalt, laktitol, or maltitol in milk chocolate. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50(1), 17–21.
- Kroger, M., Meister, K., & Kava, R. (2006). Low-calorie sweeteners and other sugar substitutes: a review of the safety issues. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(2), 35–47.
- Lemos, B. S., Maria-Luz Fernandez, M. L., & Santos, M. S. (2018). Effects of consuming sweeteners on metabolic disorders. *J Nutr., Food Techno.*, 34-38.
- Li, H., Song, W., Liu, T., Xu, S., Zhang, S., Zhang, Y., . . . Yu, J. (2022). Developing novel synbiotic yoghurt with *Lactocaseibacillus paracasei* and laktitol: investigation of the microbiology, textural and rheological properties. *International Dairy Journal*, 105475.

- Livesey, G. (2001). Tolerance of low-digestible carbohydrates: a general view. *British Journal of Nutrition*, 85(1), S7–S16.
- Livesey, G. (2003). Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. *Nutr Res Rev.*, 163-191. doi: 10.1079/NRR200371.
- Mäkinen, K. K. (2011). ugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol. *Med Princ Pract.*, 20(4), 303-320. doi: 10.1159/000324534.
- Magnuson, B. A., Carakostas, M. C., Moore, N. H., Poulos, S. P., & Renwick, A. G. (2016). Biological fate of lowcalorie sweeteners. *Nutr Rev.*, 74(11), 670-689.
- Maguire, A., & Rugg-Gunn, A. J. (2003). Xylitol and caries prevention--is it a magic bullet? . *Br Dent. J.*, 429-436. doi: 10.1038/sj.bdj.4810022.
- Makkee, M., Kieboom, A. G., & Van Bekkum, H. (2006). Production Methods of D-Mannitol . *Starch-Starke*, 136-141; DOI:10.1002/star.19850370409.
- Manham, K., & Raisi, F. (2017). A theoretical and experimental study of calcium, iron, zinc, cadmium, and sodium ions absorption by aspartame. *J Biol Phys.*, 41(1), 87-103. doi: 10.1007/s10867-016-9435-2.
- Martínez-Monteağudo, S. I., Enteshari, M., & Metzger, L. (2019). Lactitol: Production, properties, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 181-191.
- Mohamed, A. S., El-Shinnawy, N. A., & Abd El-mageid , S. A. (2019). Difference between natural and artificial sweeteners: Histopathological studies on male albino rat's brain (hippocampus). *J Sci Res Sci.*, 36(1), 120-139. doi:10.21608/jsrs.2019.3100.
- Moon, H., & Lee, J. K. (2021). Metabolic pathways and biotechnological production of erythritol: A comprehensive review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(5), 1805–1822.
- Msomi, N. Z., Mamba, G., & Arotiba, O. A. (2021). Suitability of sugar alcohols as antidiabetic supplements: A review. *Frontiers in Nutrition*, 707757.
- Munro, I. C., Berndt, W., Borzelleca, J. F., Flamm, W. G., Lynch, B. S., & Kennepohl, E. (1998). Erythritol: an interpretive summary of biochemical, metabolic, toxicological and clinical data. *Food and Chemical Toxicology*, 36(12), 1139–1174.
- Nabors, L. A. (2012). *Alternative Sweeteners. 4th edition*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

- Nigam, P. S., & Singh, A. (2022). Production of xylitol from renewable biomass: Current perspectives and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111836. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111836>.
- Noda, K., Nakayama, K., Oku, T., & Nakamura, M. (1994). Comparative study on the laxative threshold of sugar alcohols. *European Journal of Clinical Nutrition*, 48(9), 575–581.
- O'Donnell, K., & Kearsley, M. W. (2012). *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology. 2nd edition*. West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Pakulska, A., Kawecka, L., & Galus, S. (2024). Physical Properties of Selected Fruit Fibre and Pomace in the Context of Their Sustainable Use for Food Applications. *Applied Sciences*, 9051; <https://doi.org/10.3390/app14199051>.
- Pangborn, R. M., Guinard, J. X., & Davis, R. G. (1988). Evaluation of sugar and sugar substitutes. *Journal of Food Science*, 53(1), 112–118.
- Pepino, M. Y. (2015). Metabolic effects on non-nutritive sweeteners. *Physiol. Behav.*, 450-455.
- Pepper, T., & Olinger, P. M. (1961). Xylitol: Its properties and food uses. *Journal of Food Science*, 26(1), 1-7.
- Priya, K., Gupta, V. R., & Srikanth, K. (2011). Natural Sweeteners: A Complete Review. *Journal of Pharmacy Research*, 4(7), 2034-2039.
- Regnat, K., Mach, R. L., & Mach-Aigner, A. R. (2018). Erythritol as sweetener—wherefrom and whereto? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(2), 587–595.
- Renwick, A. G. (2008). The metabolism of intense sweeteners. *Appetite*, 50(1), 303–310.
- Roberts, A., Renwick, A. G., & Sims, J. (2000). Sucralose metabolism and pharmacokinetics in man. *Food and Chemical Toxicology*(38), S31–S41.
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Quinn, M. E. (2009). *Handbook of pharmaceutical excipients (6th ed.)*. Pharmaceutical Press.
- Ruiz-Ojeda, F. J., Plaza-Díaz, J., Sáez-Lara, M. J., & Gil, A. (2019). Effects of Sweeteners on the Gut Microbiota: A Review of Experimental Studies and Clinical Trials. *Adv Nutr.* , S31-S48. doi: 10.1093/advances/nmy037.
- Rzechonek, D. A., Dobrowolski, A., Rymowicz, W., & Mirończuk, A. M. (2018). Recent advances in biological production of erythritol. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(4), 620–633.

- Salli, K., Lehtinen, M. J., Tiihonen, K., & Ouwehand, A. C. (2019). Xylitol's health benefits beyond dental health: A review. *Nutrients*, *11*(8), 1813. <https://doi.org/10.3390/nu11081813>.
- Scheinin, A., & Mäkinen, K. K. (1976). Turku sugar studies. *Acta Odontologica Scandinavica*, *34*(70), 1-32.
- Sencar, L., & Kuyucu, Y. (2020). Aspartam ve asesülfam K kullanımının testis yapısına etkilerinin ince yapı düzeyinde incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *6*(3), 320-331 doi:10.30569.adiyamansaglik.789927.
- Shaher, S. A., Mihailescu, D. F., & Amuzescu, B. (2023). Aspartame Safety as a Food Sweetener and Related Health Hazards. *Nutrients*, *15*(16), 3627. doi: 10.3390/nu15163627.
- Shankar, P., Ahuja, S., & Sriram, K. (2013). Non-nutritive sweeteners: review and update. *Nutrition*, *29*, 1293–1299.
- Suez, J., Korem, T., Zeevi, D., Zilberman-Schapira, G., Thaiss, C. A., Maza, O., . . . vd. (2014). Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*, *514*(75), 181–186. <https://doi.org/10.1038/nature13793>.
- Sylvetsky, A. C., & Rother, K. I. (2018). Nonnutritive Sweeteners in Weight Management and Chronic Disease: A Review. *Obes Silver Spring Md.*, *26*(4), 635-640. doi:10.1002/oby.22139.
- Şahan, N., & Kaçar, A. (2004). Farklı Yağ Oranları ve Tatlandırıcı Kombinasyonlarının Enerjisi Azaltılmış Dondurmaların Fiziksel ve Duyusal Özelliklerine Etkileri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *8*(1), 1-6.
- Torigoe, K., Torigoe, M., Oka, S., Obata, Y., Mukae, H., & Nishino, T. (2024). Aspartame, as an artificial sweetener, does not affect renal function and antioxidative states in mice. *BMC Res Notes*, *17*(1), 55. doi: 10.1186/s13104-024-06816-6.
- Uhari, M., Kontiokari, T., Koskela, M., & Niemelä, M. (1996). Xylitol chewing gum in prevention of acute otitis media: double blind randomised trial. *BMJ*, 1180-1184. doi: 10.1136/bmj.313.7066.1180. PMID: 89167491.
- Umair, D., Kayalvizhi, R., Jacob, S., & Kumar, V. (2022). Xylitol: Bioproduction and Applications-A Review. *Sec. Sustainable Chemical Process Design*, <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.826190>.
- Wölnerhanssen, B., Beglinger, C., Schirra, J., Drewe, J., & Meyer-Gerspach, A. (2007). Gastrointestinal tolerance and metabolic effects of isomalt. *European Journal of Clinical Nutrition*, *61*(10), 1261–1267.

- Whitehouse, C. R., Boullata, J., & McCauley, L. A. (2008). The Potential Toxicity of Artificial Sweeteners. *AAOHN Journal*, 56(6).
- WHO. (1999). *Evaluation of certain food additives and contaminants: Forty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. WHO Technical Report Series.
- WHO. (2015). *Guideline: Sugars intake for adults and children*. Geneva: WHO. Retrieved from . World Health Organization: http://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/sugars_intake/en/ adresinden alındı
- Wilk, K., Korytek, W., Pelczyńska, M., Moszak, M., & Bogdański, P. (2022). The Effect of Artificial Sweeteners Use on Sweet Taste Perception and Weight Loss Efficacy: A Review. *Nutrients*, 14(6), <https://doi.org/10.3390/nu14061261>.
- Wisselink, H. W., Weusthuis, R. A., Eggink, G., Hugenholtz, J., & Grobden, G. J. (2002). Mannitol production by lactic acid bacteria: a review. *International Dairy Journal*.
- Yang, Q., Zhang, Z., & Gregg, E. W. (2014). Added sugar intake and cardiovascular diseases mortality among US adults. *JAMA Intern. Med.*, 516-524.
- Zumbe, A., Lee, A., & Storey, D. (2001). Polyols in confectionery: Properties and applications. *British Journal of Nutrition*, 85(1), S31–S45.

İNDEKS

A

ADI değeri, 2, 3
ağız, 32
Ağız, 90, 92, 93
alkol, 34
anksiyete, 98, 110, 111
anti-karyojenik, 48, 49, 53, 54
Asesülfam-K, 2
asit, 3, 9, 11, 14, 16, 17, 21, 24, 31, 32, 34,
35, 48, 53, 54, 70, 74, 91, 92, 93, 94,
111

B

Bağırsak mikrobiyomu, 96
bakterilerin, 90, 91, 92, 93, 98
besin, 85, 86, 90, 96, 98, 99, 112, 114
beslenme, 80
Beslenme, 35, 42, 91
bisküvi, 22
buğday, 27

C

cilt, 40

Ç

Çikolata, 39
çocuk, 112, 113, 114
çözünürlük, 4
çürük, 91, 92, 93, 94, 95

D

depolama, 30
depresyon, 98, 110, 111
disbiyozis, 96, 100, 113
Diş, 90, 91, 94
diyabet, 7

diyabetik, III, 1, 6, 7, 8, 20, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 34, 35, 36, 39, 42, 43, 46, 47, 48,
49, 52, 53, 54, 55, 57, 60, 61, 64, 65
diyet, 81, 82, 83, 84, 91, 92, 93, 95, 96, 100,
101, 102
doğal, 11, 81, 82, 83, 84, 87, 90, 92, 93,
111, 114
dopamin, 110, 111
doz, 102, 104, 105, 109
Duyusal özellikler, 1
düşük, 28
düşük GI, 88, 89, 90

E

enerji, 6, 7, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34,
35, 36, 39, 40, 41, 42, 44, 46, 50, 54, 55,
58, 63, 64, 70, 71, 72, 73, 74, 78, 86, 88,
89, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 106, 111,
112, 113, 114
Enerji, 7, 20, 23, 40, 47, 48, 55, 78, 87
enzimatik, 16, 17, 34, 35, 36, 42, 43, 49, 50,
51, 54, 58, 64, 74, 75
enzimatik hidroliz, 43, 50
epidemiolojik, 102, 103, 105, 106, 109,
113
ergenlik, 112, 114
eritritol, 29, 69
Eritritol, VI, VIII, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
32, 33, 34, 38, 73, 74, 77, 82, 87, 92, 94
etki, 104

F

Farmasötik, 33, 40, 46, 53, 54, 61, 62
fermente, 35
fırıncılık, 7, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 25,
26, 31, 32, 34, 38, 39, 40, 45, 46, 52, 54,
59, 60, 64, 68
Fırıncılık, 32, 39, 46, 53, 70
Fizikokimyasal, V, VI, VII, 4, 6, 10, 12, 17,
23, 25, 30, 38, 40, 41, 44, 47, 48, 51, 52,
59, 62, 68

G

gıda, III, 11, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 85, 93, 108, 110, 112
gıda endüstrisinde, 39
Gıda teknolojisi, 52
Glisemik etki,, 83, 90
glisemik indeks, 52

H

hidrojen, 22, 37, 44, 57
hidrojenasyon, 23, 37, 44, 47, 49, 50, 54, 58
Hidrojenasyon, 37
higroskopik, 10, 23, 25, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 48, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60, 62, 69
higroskopiktir, 30
Hormon, 107

I

ısıt işlemleri, 38, 45, 52, 59, 68, 75

İ

İçecek, 32
inovatif, 11, 73
izomalt, 36
İzomalt, VI, VIII, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 87, 92

K

kalori, 81, 82, 83, 84, 93, 95, 96, 97, 99, 100, 110
kan şekeri, 81, 83, 85, 86, 87, 88, 90
kanser, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110
Katalitik, 44
katalizör, 36

kısa zincirli yağ asitleri, 22, 24, 89, 97
kilo kontrolü, 83, 99, 101
kristal, 3, 4, 10, 17, 18, 21, 29, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 51, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 67, 69
kristal yapılı, 30
kristalizasyon davranışı, 45
kronik, III, 24, 78, 79, 80, 81, 88, 97, 99, 107
ksilitol, 21, 26, 30, 42, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 72, 73, 74, 77, 82, 86, 91, 93, 94
Ksilitol, VI, VIII, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 73, 74, 86, 87, 93, 94, 95, 117

L

Laktitol, 23

M

Maltitol, VI, VIII, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 87, 92
mannitol, 34, 37, 43, 44, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 74
meme kanseri, 103, 105, 106, 107
metabolik, 12, 20, 22, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 40, 42, 43, 49, 50, 51, 52, 55, 57, 60, 63, 64, 66, 68, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 112, 113, 114
metabolizma, 101
Metabolizma, 1

N

nem, 21, 23, 24, 25, 26, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 44, 45, 46, 48, 52, 53, 55, 56, 59, 60, 61, 62
nem tutucu, 24
Neotam, 16
nöroendokrin, 99, 101
nörolojik, 98, 110, 111

O

obezite, 81, 83, 84, 87, 90, 95, 97, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 110, 112, 113

Organoleptik, 45
Organoleptik özellikler, 12, 42

P

pH, 91, 92, 93, 94, 95
plak, 91, 94
polioldür, 41
potansiyel, 82, 84, 96, 97, 98, 102, 103,
104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 113,
114
prebiyotikler, 98
Probiyotikler, 98
psikolojik, 82, 100, 110, 111

R

raf ömrü, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 19, 20, 23, 30,
45, 52, 60, 67, 68, 70, 75
reaksiyon, 26, 30, 32, 36, 44, 51, 57, 66, 67

S

saflık, 16
sağlık, III, 11, 6, 15, 21, 24, 25, 32, 33, 34,
43, 49, 50, 54, 56, 57, 63, 66, 71, 73, 75,
76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87,
88, 89, 90, 91, 95, 96, 101, 102, 106,
108, 110, 111, 112, 113, 114
sakız, 2, 12, 19, 24, 26, 30, 31, 32, 35, 39,
46, 48, 51, 54, 59, 60, 64, 70, 77
sakkaroz, 86, 95
sakkaroz temel, 11
sindirim, 82, 89, 96, 97, 98
Sorbitol, VI, VIII, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61,
62, 87, 93, 94, 116
Stevia, 11, 33, 72, 74, 94
stratejik, 34
su aktivitesi, 31, 44, 61, 69
suda çözünürlükleri, 59
Sukraloz, VII, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 76, 94, 104

Ş

şeffaf, 34, 38, 45, 82
şeker, 44

şekerleme, IV, 10, 12, 19, 21, 22, 24, 25, 26,
30, 31, 32, 34, 35, 38, 39, 41, 44, 46, 47,
50, 51, 64, 67, 70, 71, 77

T

tablet, 10, 22, 33, 36, 44, 46, 55, 56, 59, 61,
62, 63, 67, 70
tat, 11, 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18,
19, 20, 23, 24, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 37,
38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49,
52, 53, 54, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66,
67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77,
78, 82, 86, 99, 110, 111, 112, 114
tat algısı, 5, 19, 38, 76, 110, 111, 112, 114
tat profili, 3, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 17, 18,
19, 20, 23, 26, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 39,
40, 41, 42, 45, 47, 48, 49, 59, 63, 64, 68,
69, 70, 71, 72, 74, 76
tatlandırıcı, III, 11, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11,
13, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26,
27, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41,
42, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55,
56, 57, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69,
70, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 84,
88, 92, 93, 95, 97, 100, 101, 102, 103,
105, 106, 107, 111, 112, 113, 114
Tatlandırıcılar, 11, 84, 95, 96, 98, 100, 101,
102, 106, 110, 112
tatlılık, 5
teknolojik, 11, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 21, 25, 26,
30, 47, 48, 49, 60, 69, 71, 73, 76, 77, 82,
85
Teknolojik açıdan, 71
tüketici, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 25,
30, 31, 33, 34, 39, 40, 48, 50, 51, 52, 54,
56, 57, 59, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 76, 77, 80, 82, 90
Tüketim, 50

U

uygulama, 27, 44, 52, 61, 63, 66, 69, 71, 74

Ü

üretim, 11, 3, 4, 9, 16, 17, 19, 23, 27, 28,
29, 30, 33, 35, 37, 40, 43, 44, 49, 50, 51,
54, 57, 58, 62, 63, 66, 67, 71, 73, 74, 75,
79

Üretim, 3, 9

ürün, III, 2, 3, 4, 6, 13, 15, 16, 17, 22, 23,
27, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 43,
44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 54, 56, 57, 59,
62, 64, 65, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76,
78, 79, 80, 82

Y

yapay, 11, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 93, 96, 97,
98, 99, 100, 101, 103, 105, 106, 107,
111, 113

yaygın, III, 11, 1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 13,
14, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 32,
33, 35, 39, 40, 43, 46, 50, 51, 53, 54, 55,
57, 58, 59, 60, 61, 62, 67, 69, 70, 77, 81,
82, 83, 84, 90, 92, 93, 95, 97, 102, 108,
110, 112

yeme davranışı, 100, 101, 110, 111, 112

yöntem, 3, 16, 28, 29, 50, 54, 57, 58

Yüksek GI, 88

Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU



1988 yılında Afyonkarahisar'da doğdu. Lisans eğitimini 2009 yılında Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan Yüksek Lisans derecesi ile 2011 yılında mezun oldu. Doktora derecesini 2016 yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Bilimleri alanında aldı.

2009-2020 yılları arasında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak, 2020 yılından bu yana da Doç Dr. olarak görev yapmaktadır. 2021-2024 yılları arasında Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı görevini yürütmüştür. Halen Gıda Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Doç. Dr. Emine Nakilcioğlu, genel olarak Gıda Kimyası, Gıdaların Enstrümental Analizi, Tıbbi ve Fonksiyonel Gıdalar ve Nutrasötik Kimya konularına odaklanmıştır.

Yayınlanmış çok sayıda ulusal ve uluslararası araştırma makaleleri, derleme makaleleri, kitapları, kitap bölümleri, ulusal ve uluslararası kongrelerde sunulan bildirileri bulunmaktadır. Doç. Dr. Emine Nakilcioğlu, Gıda Kimyası alanındaki çalışmalarına Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir.

