SİDAS MEDYA
Akademik Gıda® / Academic Food Journal
ISSN Print: 1304-7582, Online: 2146-9377
http://www.academicfoodjournal.com

Akademik Gıda 12(1) (2014) 115-123

Derleme Makale / Review Paper

Prebiyotikler: Metabolizma İçin Önemli Bir Gıda Bileşeni

V. Hazal Özyurt, Semih Ötleş

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 27.12.2013, Kabul Tarihi (Accepted): 15.02.2014
Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): semih.otles@ege.edu.tr (S. Ötleş)
0 232 311 21 05 0 232 342 75 92

ÖZET

Prebiyotikler, insanlarda sindirim enzimleri tarafından sindirilemeyen ve bazı faydalı bakteri gruplarının aktivitesini seçici olarak zenginleştiren kısa zincirli karbonhidratlardır. Bağırsaklarda, prebiyotikler, kısa zincirli yağ asidi üretmek için faydalı bakteriler tarafından fermente edilirler. Prebiyotikler kanser riskinin azaltılması ve kalsiyum ve magnezyum absorpsiyonunun artırılması gibi kalın bağırsaklarda diğer birçok sağlık üzerine faydalı etkilere sahiplerdir. Prebiyotikler birçok sebze ve meyvelerde bulunur ve önemli teknolojik avantaj sağlayan fonksiyonel gıda bileşenleri olarak düşünülmektedir. Onların eklenmesiyle süt ve ekmek gibi gıda uygulamalarında çok büyük miktarda tat ve doku gibi duyusal karakterler geliştirmektedir ve köpük, emülsiyon ve ağız hissi stabilitesi artmaktadır. Bu derlemede prebiyotiklerin özellikleri, kaynakları, üretim yolları, insanlar için güvenilir dozu ve sağlık üzerine etkisi anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Prebiyotik, Oligosakkaritler, Probiyotik kaynakları, Sağlık

Prebiotics: A Significant Food Ingredient for Metabolism

ABSTRACT

Prebiotics are short chain carbohydrates that are non-digestible by digestive enzymes in humans and selectively enhance the activity of some groups of beneficial bacteria. In the intestine, prebiotics are fermented by beneficial bacteria to produce short chain fatty acids. Prebiotics also render many other health benefits in the large intestine such as reduction of cancer risk and increase calcium and magnesium absorption. Prebiotics are found in several vegetables and fruits and are considered functional food components and present significant technological advantages. Their addition improves sensory characteristics such as taste and texture, and enhances the stability of foams, emulsions and mouthfeel in a large range of food applications. This contribution reviews prebiotic properties, sources, methods of prebiotic productions, safety concerns of prebiotics and health benefits.

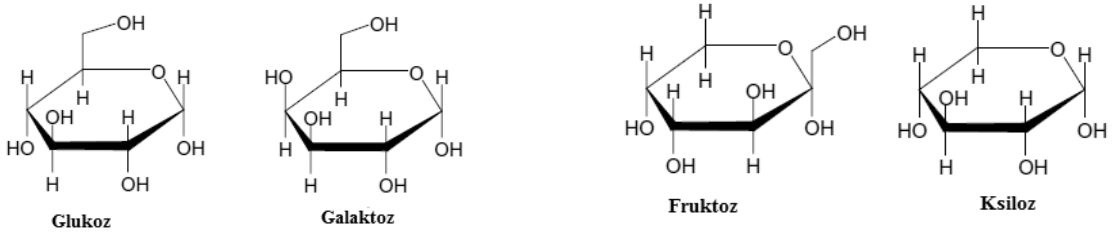
Key Words: Prebiotics, Oligosaccharides, Sources, Health

GİRİŞ

Prebiyotik, Gibson ve Roberfroid tarafından 1995'te "kolondaki bir veya sınırlı sayıdaki bakterinin aktivitesini ve/veya büyümesini uyararak konağı faydalı olarak etkileyen ve sonuç olarak konağın sağlığını geliştiren sindirilemeyen gıda katkısı" olarak tanımlanmıştır [1, 2]. Daha sonra bu tanımlama diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve prebiyotik şimdilerde tanımlandığı gibi "konağın sağlığına ve iyiliğine fayda sağlayan gastrointestinal floradaki aktivite ve/veya kompozisyonun spesifik değişimlere izin veren fermente olan bileşen" olarak tanımlanır. Bu tanımlamalara göre, yeni prebiyotikler sözü geçen kriterlere uygun olarak tespit edilmektedir. Son zamanlarda, konağın sağlığına fayda sağlaması için gastrointestinal mikrobiyatanın kompozisyonunu düzenlemek için fonksiyonel gıda olarak prebiyotik kullanımına çok fazla ilgi vardır [3].

Prebiyotikler, insanlarda sindirim enzimleri tarafından sindirilemeyen kısa zincirli karbonhidratlardır ve dirençli kısa zincirli karbonhidratlar olarak adlandırılmaktadır. Prebiyotikler, kolonda sindirime direnç gösterirler ve sindirilmeden kolona ulaşırlar [4]. Onlar genellikle %80'lik etanolde çözülebilen sindirilemeyen oligosakkaritlerdir. Aktif olmayan gıda bileşeni olan prebiyotikler kolonda fermente olurlar. Konağa faydası ise bakteri florasına olan katkısındandır [5].

Prebiyotik tanımlaması, bağırsak bakterilerinin çeşidi veya birçok gen için seçiciliğinin hariç tutulmasıyla genellikle diyet lifi tanımlamasıyla örtüşmektedir. Ancak diyet lifi ve prebiyotik arasındaki fark FAO'nun yaptığı açıklamaya göre "prebiyotik, floranın değişimi ile ilişkilenen konağın sağlığı üzerine fayda sağlayan canlı olmayan gıda bileşenidir". Bu açıklama sonucunda "Bir prebiyotik bir lif olabilir ama bir lif bir prebiyotik olmak zorunda değildir" [6]. Sadece sindirilemeyen karbonhidrat molekülleri (di-, oligo-, ve polisakkaritler) değil, dirençli nişasta ve şeker polyolleri de prebiyotik özelliklere sahiptir [5]. Neredeyse bütün oligosakkarit ve polisakkaritlerin prebiyotik aktiviteye sahip olduğu düşünülmektedir, ancak bütün karbonhidratlar prebiyotik olarak düşünülemez. Yani, prebiyotik olarak gıda katkılarının sınıflandırılabilmesi için türevlerinin aydınlatılmasına ihtiyaç vardır [7]. Sindirilemeyen karbonhidratler özellikle sindirilemeyen oligosakkaritlerin yanı sıra bazı peptiler, proteinler ve bazı lipitler de prebiyotik özelliklere sahiptir [8]. Oligosakkaritler genellikle farklı polimerizasyon derecelerine sahip şekerlerin kombinasyonudur [5]. Fruktooligo ve polisakkaritlerin karışımı olan inülinin hariç tutulmasıyla, bilinen polisakkaritler 3-10 karbonhidrat polimerinden oluşan sindirilemeyen oligosakkarilerin karışımıdır. 1980'den beri, gıda endüstrisinde (içecekler, tatlandırıcılar) oligosakkaritler viskoziteyi, emülsifikasyon kapasitesini, jel oluşumunu, donma noktasını ve gıdaların rengini düzenlemek için artarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda orta tatlılık (sükrozun değerinin %30-60'ı), düşük kariyojenizite, düşük kalorimetrik değer ve düşük glisemik indeks gibi sağlığa ve beslenmeye dayalı değerler de göstermektedir [9]. Sindirilemeyen oligosakkaritlerde prebiyotik olarak adlandırılır. Bu sindirilemeyen oligosakkaritler fruktoz, galaktoz, glukoz ve/veya ksiloz gibi monosakkarit birimlerinden oluşur (Şekil 1) [10].



Şekil 1. Sindirilemeyen oligosakkaritlerin monosakkarit bileşimi [10]

Bu çalışma, prebiyotik kaynakları ve tiplerini, prebiyotiklerin fermente olabilirliğini ve aktivitesini, polisakkaritleri, insan sağlığına etkilerini, üretim metotlarını içermektedir.

PREBİYOTİK KAYNAKLAR

Sindirilemeyen karbonhidratlar, eğer memeli enzimleri ve gastrik asitliğe direnç gösterebilirse, (gut) mide bakterileri tarafından fermantasyonu sürdürebilirse, faydalı mikroorganizmaların aktivitesini ve sayısını zenginleştirme yeteneğine sahipse prebiyotik olarak adlandırılabilir [5]. Prebiyotiklerin çoğu fruktooligosakkarit (FOS), galaktooligosakkarit (GOS), izomaltooligosakkarit (IMO), ve ksilooligosakkariler (XOS) gibi bitki ve alg polisakkaritlerinin depolimerizasyonundan ya izole edilir ya da sentezlenir. Soyaoligosakkaritleri (SOS), galaktooligosakkaritler (GOS), ve ksilooligosakkaritler (XOS) gibi temel oligosakkaritler Japonya'da marketlerde satılmaktadır [3] (Tablo 1). En önemli özellikleri sindirim enzimlerine karşı dayanıklı olmalarıdır. Bu yüzden düşük kalorilidirler [11].

Tablo 1. Prebiyotik oligosakkaritler [5], [12].

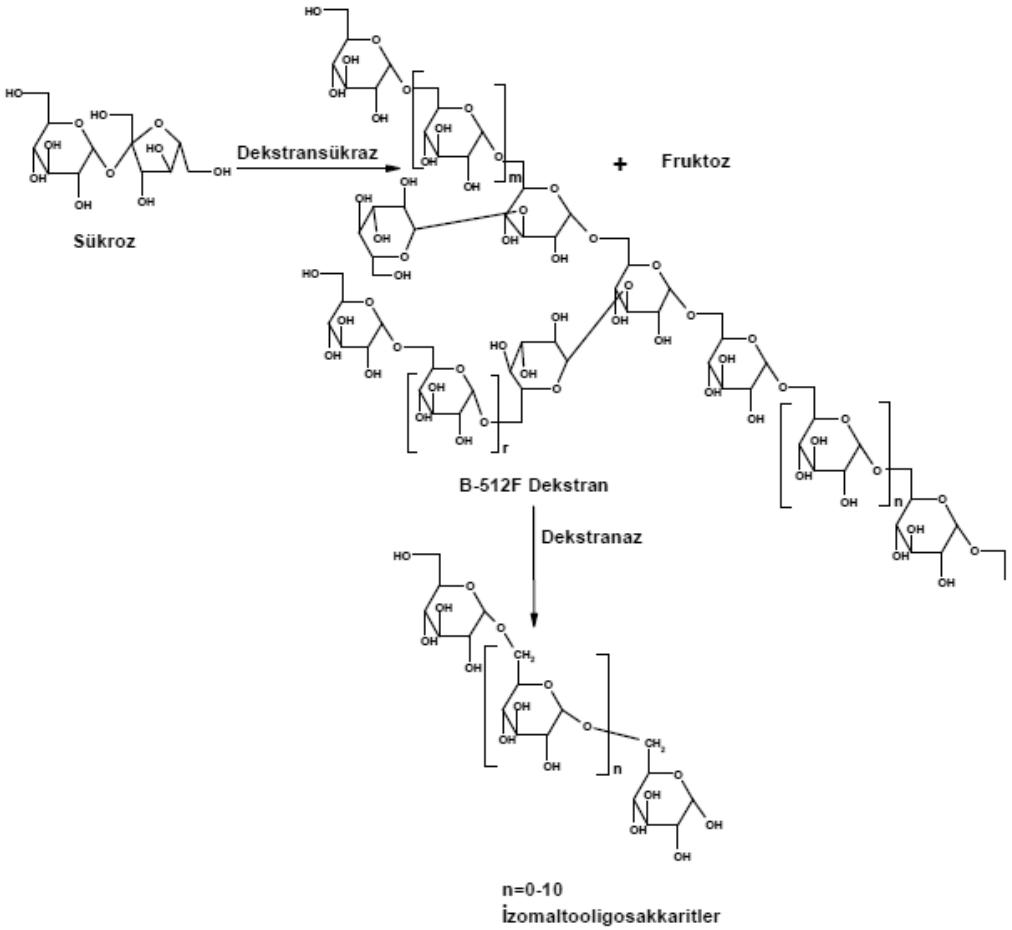
Prebiyotik tipleri	Kaynaklar
Fruktooligosakkaritler	Kuşkonmaz, şeker kamışı, sarımsak, hindiba, soğan, yeralması, buğday, bal, muz, domates, çavdar, arpa
İzomaltuloz	Bal, şeker kamışı şerbeti
Galaktooligosakkaritler	İnsan sütü, inek sütü
Rafinoz oligosakkaritleri	Mercimek, bezelye, fasulye taneleri
Ksilooligosakkaritler	Bambu kökleri, meyveler, sebzeler, süt, bal ve buğday kepeği
Siklodekstrinler	Suda çözülebilir glukanlar
Soyaoligosakkaritleri	Soya
Laktuloz	Laktoz (Süt)
Laktosukroz	Laktoz
İzomaltuloz	Sukroz
Palatinoz	Sukroz
Maltooligosakkaritler	Nişasta
İzomaltooligosakkaritler	Nişasta
Arabinoksilooliosakkaritler	Buğday kepeği
Enzime dirençli dekstrin	Patates nişastası

İzomaltooligosakkaritler (IMO)

İsomaltooligosakkaritler (IMO), α-(1-6) glukozidik bağlarla bağlı glukoz monomerlerinden oluşan bir glukooligosakkaritlerdir [7]. İzomaltooligosakkaritler sükroz, maltoz, nişasta ve dekstran gibi karbohidratlar kullanılarak farklı metotlarla üretilebilirler [13]. Ticari ürünlerde bulunan IMO 2-6 aralığında polimerizasyon derecesine sahiptir [14].

IMO, onların düşük kalorilerinden, kariyojenizitesinin olmamasından ve diyabet açısından güvenilir olduğundan çoğu gıdaların kalitesini geliştirmek için büyük bir potansiyele sahip olan yeni gelişen fonksiyonel gıda katkılarıdır. IMO, asit çözeltilerinde stabil olduğundan diğer oligosakkaritlerden ayrılırlar. Mısır nişastasından α-amilaz, β-amilaz ve transglukosidaz ile nişastanın bir dizi reaksiyonları ile üretilir [15].

İzomaltooligosakkaritlerin önemli bir özelliği de diş çürümesini önlemesidir. Diş çürümesine nedenlerinden olan *Streptococcus mutans* bakterilerinin ürettiği dekstransükraz enzimi, sükroz ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen dekstran polimerini meydana getirir. Bakteri üretilen polimerle dişe yapışır ve diş plağını oluşturur. Diş plağı, bakterileri diş yüzeyinde tutar ve aynı zamanda fermentasyon için anaerobik bir ortam sağlar. Sükroz ve fruktoz anaerobik fermentasyonla laktik asite çevrilir. Diş minesi için kritik pH değerinin (pH 5.0) altında diş çürümesi başlar [16]. Sükroza IMO ilave edildiğinde, sükrozdan dekstran polimerinin sentezi engellenir ve diş çürümesi önlenir [17] (Şekil 2).



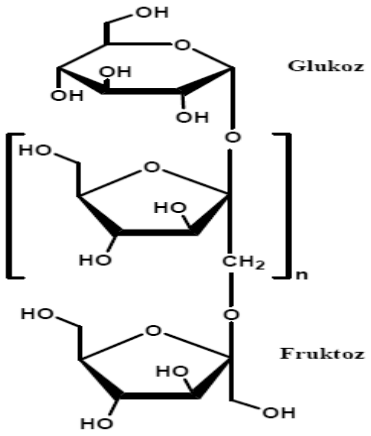
Şekil 2. Dekstransükraz ile sükrozdan dekstran sentezi ve dekstranın dekstranaz ile hidrolizi.

Fruktooligosakkaritler (FOS)

Fruktooligosakkaritler fonksiyonel gıda katkısı olarak sınıflandırılabilirler. Buğday, soğan, muz, hindiba gibi depo karbonhidratları içeren 36 000'den fazla bitki türünde bulunur. FOS β (2-1) bağlarıyla bağlı fruktoz oligomerleridir (Şekil 3) ve polimerizasyon derecesi 2-20 arasında değişmektedir. FDA tarafından güvenilir gıda (GRAS) olarak adlandırılırlar. FOS diyet lifi olarak tanımlanır. FOS, bifidobacteria gibi intestinal bakterilerin büyümesini yöneten sindirilemeyen gıda katkıları olduklarından prebiyotik olarak da adlandırılır. FOS kalorik değeri 1.5 kcal/g' dır. FOS ya besleyici avantajlarıyla ya da teknolojik özellikleriyle kullanılabilirler, ancak onlar genellikle organaleptik kaliteyi geliştirdikleri ve besleyici kompozisyonu daha iyi

dengeledikleri için tercih edilirler. Besin desteği olarak, FOS yağ ve şeker ikamesi olarak kullanılırlar [18].

Fruktooligosakkaritler farklı polimerizasyon derecelerine sahip β-D fruktanlardır. FOS'lar inülinin endoinülinaz enzimi tarafından hidrolizi ile elde edilirler. İnülin Glu α-(1-2)[β-Fru (1-2)]$_n$ n>10 yapısında, fruktoz birimlerinden oluşan bir polimerdir [7]. Ayrıca *Aspergillus sp.* ve *Aureobasidium sp.* gibi bakterilerden elde edilen fruktoziltransferazlar ile sükrozdan FOS'ler üretilir. Fruktoziltransferazlar, sükrozdaki fruktoza 1-3 adet fruktoz transfer ederek FOS sentezini gerçekleştirir [19].

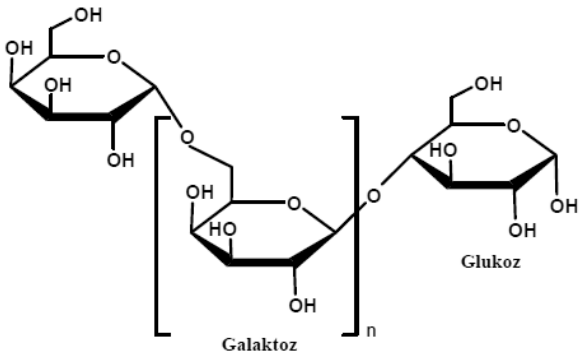


Şekil 3. Fruktooligosakkaritlerin molekül yapısı (n=1-3)

Fruktooligosakkaritler intestinal bifidobakteria üzerine etkilerinden dolayı en iyi oligosakkaritlerdir. Onlar birçok ülkede çok büyük miktarlarda üretilirler ve bisküvi, içecek, yoğurt kahvaltılık gevrek ve tatlandırıcı olarak birçok gıdaya eklenirler [7].

Galaktooligosakkaritler (GOS)

Galaktooligosakkaritler (GOS) prebiyotiktir. Glukoz ve galaktoz moleküllerinden oluşan laktozun enzimatik dönüşümüyle elde edilir. GOS, büyüme performansı, bağışlık sistemi ve intestinal morfoloji üzerine etkilidir [20].
GOS galaktoz içeren Glu 1-4 [β-Gal 1-6]$_n$ n=1-4 yapısında bulunan oligosakkaritlerdir (Şekil 4). Hidrolitik enzim aktivitesine sahip olan β-galaktosidaz enziminin trans-galaktosidaz aktivitesiyle laktozdan üretilir [21]. Bitki kaynaklarından (baklagiller, soya fasulyesi) ekstrakte edilerek de elde edilirler [22]. Bu hidrolitik aktivite süt ürünlerinin tatlılığını artırır ve laktoz intoleranslı olan bireyler için laktoz konsantrasyonunu düşürür [21].



Şekil 4. Galaktooligosakkaritlerin molekül yapısı (n=1-4)

İnülin

İnülin, orta asitlikte stabildir, ürüne kalıcı bir tat vermediğinden ve renginde bir değişime neden olmadığında fermente süt ürünlerinin üretiminde kullanımı tavsiye edilmektedir [23]. İnülin, polidispers karbonhidrat olarak tanımlanır. İnülin içeren bitkiler genellikle *Liliaceae*, *Amaryllidaceae*, *Gramineae* ve *Compositae* familyasındandır [24]. İnülin ve oligofruktoz sıklıkla tüketilen gıdalardan en çok un, soğan, muz, sarımsak ve pırasada bulunur [25]. Sentetik inülin tipi fruktanlar ise, sukroz moleküllerinin enzimatik olarak katalize edilmesiyle üretilir [26]. Bununla beraber endüstriyel olarak inülin, geleneksel olarak hindibadan üretilir. Prebiyotik olarak, inülin ve oligofruktoz, meyve ve sebzelerde önemli oranda bulunur ve ABD'de de günlük tüketim 1-4 g, Avrupa'da ise 3-11 g'dır [26]. İnülin tipi fruktanlar tatlandırıcı olarak, yağ ikamesi olarak (sadece inülin), tekstür düzeltici olarak, stabilizatör olarak, dondurma ve tatlılarda jelleştirici olarak, ekmekçilikte, pastacılıkta ve bebek mamalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda, inülin tipi fruktanlar da sindirilemeyen oligosakkarit (prebiyotik) olarak sınıflandırılmıştır [26]. İnülin etkili sindirilemeyen gıda katkısı olan prebiyotiklerdir. Inülin, şeker ve yağ ikamesi özelliklerinden dolayı farklı gıdalarda kullanılır. Glukoz ünitesi olsun ya da olmasın β-(2-1)-glikozidik bağlarla

fruktoza bağlı olan zincirlerdir. Polimerizasyon derecesi 3-60 arasında değişmektedir [25].

Oligofruktoz

Oligofruktoz ise 2-9 polimerizasyon derecesine sahip olan inülinin kontrollü hidrolizi ile elde edilen prebiyotiktir [25].

Laktuloz

Gal β-1-4 Fru (Tablo 2) formunda bulunan sentetik bir disakkarittir. Laktuloz, ince bağırsaklarda absorblanamadığından ya da hidrolizlenemediğinden laksatif olarak kullanılır. Çok fazla kullanım alanına sahip değildir [7].

Soyaoligosakkaritleri (SOS)

Soya fasulyesinde bulunan ana oligosakkaritler rafinoz ve stakiyozdur. Soyaoligosakkaritlerinin prebiyotik aktivitesini değerlendirmek için insan denemeleri yapılmaktadır [7].

Laktosukroz

β-fruktofuranosidaz enzimi kullanılarak sukroz ve laktozun karışımından laktosukroz elde edilir [7].

Ksilooligosakkaritler

β-1-4 bağlı ksiloz moleküllerinin zincirleridir ve özellikle ksilobioz, ksilotrioz ve ksilotetraozdan oluşur. Gut bakterileri tarafından ksilooligosakkaritlerin fermentasyonu üzerine çok az çalışma mevcuttur [7]. Prebiyotiklerin fonksiyonel etkileri; şekerlerin sindirimi ve hazmı üzerine olumlu etkileri, glukoz ve yağ metabolizması ile kalp hastalığı riskine karşı koruyucu etki olarak sıralanabilir. Kanserin önlenmesinde önemli olan kısa zincirli yağ asitleri, bağırsakta fermentasyonla üretilmektedir [27].

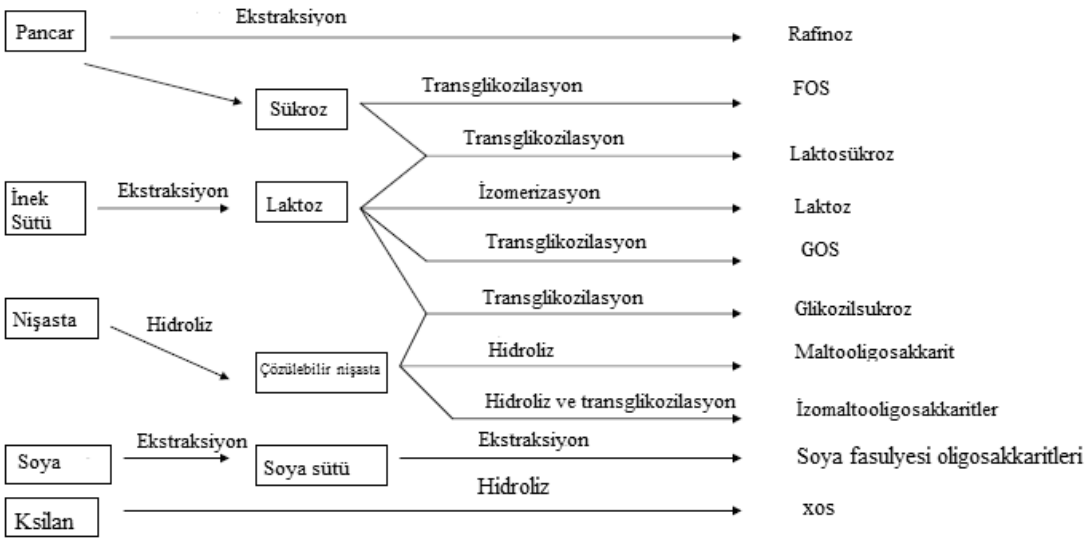
Tablo 2. Prebiyotiklerin moleküler yapısı* [10]

Prebiotikler	Moleküler yapı
Siklodekstrin	$(Gu)_n$
Fruktooligosakkaritler	$(Fr)_n$-Gu
Galaktooligosakkaritler	$(Ga)_n$-Gu
Gentioligosakkaritler	$Gu)_n$
Glikozilsukroz	$(Gu)_n$-Fr
İzomaltooligosakkaritler	$Gu)_n$
İzomaltuloz	$(Gu\text{-}Fr)_n$
Laktosukroz	Ga-Gu-Fr
Laktuloz	Ga-Fr
Maltooligosakkaritler	$(Gu)_n$
Raffinoz	Ga-Gu-Fr
Soyaoligosakkaritleri	$(Ga)_n$-Gu-Fr
Ksilooligosakkaritler	$(Xy)_n$

*: Ga=Galaktoz; Gu=Glukoz; Fr=Fruktoz; Xy=Ksiloz

PREBİYOTİK ÜRETİMİ

Son 20 yılda, müşterilerin sağlığı ve iyiliğini artıran gıda katkısı olarak oligosakkaritlerin üretimi için çok fazla çalışma yapılmıştır [3]. Ticari prebiyotik oligosakkaritler ve probiyotik bakterilerin gelişimi, sinbiyotik olanlar gibi yeni konseptlerin gelişmesi mümkündür.



Şekil 5. Prebiyotiklerin elde edilme yöntemleri [28]

Prebiyotikler 3 yolla elde edilirler: Doğal kaynaklardan direkt ekstraksiyonla, polisakkaritlerin enzimatik ve kimyasal hidroliziyle veya disakkaritlerden enzimatik ve kimyasal sentezle elde edilebilirler [3], [5]. Bitkilerden ekstraksiyonla elde edilen prebiyotiklere hindiba [3], soğan, pırasa ve sarımsaktan inülin, anne sütünden galaktooligosakkaritler [28] ve soyadan soyaoligosakkaritleri [12], polisakkaritlerden enzimatik hidrolizi takip eden prebiyotiklere inülinden oligofruktoz ayrıca ksilooligosakkarit ve izomaltooligosakkaritler ve mono veya disakkaritlerden sentezle elde edilenlere ise sukrozdan frukooligosakkaritler ve laktoztan trans-

galaktosilatlanmış oligosakkaritler veya galaktooligosakkaritler örnek verilebilir [9]. (Şekil 5) Yeni tiplerin elde edilmesi için biyoteknolojinin kullanımı yaygındır [12]. Prebiyotiklerin eldesinde kullanılan çeşitli yöntemler Tablo 3'de verilmiştir [28].

Biyolojik Materyallerden Prebiyotiklerin Ekstraksiyonu

Bazı prebiyotikler materyallerde bulunurlar. İnülin gibi fruktanlar hindiba, doğal endüstriyel kaynaklar ve sabır otu gibi doğal kaynaklardan ekstrakte edilirler. Soyaoligosakkaritleri soya fasulyesinden ekstrakte edilir. Hindiba gibi kolay büyüyen bitkilerden ekstraksiyon prebiyotik ürün olarak inülin için ekonomik avantaj sağlar [28].

Prebiyotiklerden Hidroliz ile Üretimi

Fruktooligosakkaritler inülinin hidroliziyle üretilebilirler. Hindiba inülin, ortalama 4 polimerizasyon derecesine sahip fruktooligosakkaritlerin karışımını elde etmek için endo-inülin (EC 3.2.1.7) tarafından hidroliz edilebilir. Ksilooligosakkaritlerin üretimi lignoselülozik materyallerden elde edilebilir. Ksilanın eterik bağlarının bazıları daha düşük polimerizasyon derecesi vermek için hidroliz edilebilir [28].

Tablo 3. Prebiyotik kaynaklar ve üretim metotları [28]

Karbonhidrat	Doğal Kaynaklar	Kimyasal yapı	Üretim metodu
İnülin	Meyveler ve sebzeler (soğan, muz, sarımsak vb.)	B(2-1)-Fruktanlar	Hindiba kökü ve *Agave tequilana'* dan ekstraksiyon
Fruktooligosakkaritler	Meyveler ve Sebzeler (soğan, muz, sarımsak vb.)	B(2-1)-Fruktanlar	Hindiba inülinlerinin hidrolizi veya sukrozdan transfruktosilasyonu
Galaktooligosakkaritler	İnsan sütü	Galaktoz oligomerleri ve bazı glukoz/laktoz/galaktoz birimleri	B-galaktosidaz tarafından laktozdan üretimi
Soyaoligosakkaritler	Soya fasulyesi	Nişasta ve rafinozun karışımı	Soya fasulyesinde ekstrakte edilir
Ksilooligosakkaritler	Bambu filizleri, meyveler, sebzeler, süt ve bal	B(1-4) bağlı ksiloz	Ksilanın enzimatik hidrolizi, doğal lignoselülozik materyallerden enzimatik uygulamalarla, mineral asitlerin seyreltilmiş çözeltileri, su veya buharla ksilanın hidrolitik bozunmasıya
Izomaltooligosakkaritler	Nişasta (Buğday, arpa, mısır, pirinç, patates vb.	α(1-4) glukoz ve α(1-6) dallanmış glukoz	Maltozun mikrobiyal veya enzimatik transgalaktosilasyonu, sukrozdan enzimatik sentez
Pirodekstrinler	Nişasta (mercimek, sorgumun çekirdekleri, sago kökleri vb.)	Glukoz içeren oligosakkarit karışımı	Mısır veya patates nişastasının pirolizi

Prebiyotiklerin Enzimatik Glikozil Transferiyle Üretimi

Prebiyotik üretimi için genel yaklaşımlardan 3. sü enzimle katalizlenen transfer reaksiyonlarıdır. Genellikle sukroz ve galaktoz gibi uygun substratlar kullanılır ve uygun glikoziltransferaz veya glikosidaz enzimi yeni oligosakkaritler üretmek için kullanılır. Galaktooligosakkarit sentezi için tercih edilen metot glikosit hidrolazlar (EC 3.2.1) veya glikosiltransferazlar (EC 2.4) kullanılarak laktozdan enzimatik katalizle sentezlenmesidir. Glikoziltransferazlar ve glikosit hidrolazlar verici şekerden bir alıcıya glikozil parçasının transferinden sorumludur. Ancak GOS, sonraki uyumsuzluktan dolayı glikotransferazlardan ziyade glikozid hidrolazların katalitik aktivitesini kullanarak üretilir. Reaksiyon kinetik olarak kontrol edilir ve böylece ürünlerin optimum verimi laktoz konsantrasyonuna ve reaksiyon zamanına bağlıdır. Ticari GOS ürünler yaklaşık olarak oligosakkaritlerin % 55 idir [28].

FOS, sukrozdan Şekil.. de görüldüğü ya β-fruktofuranosaidazlar ya da β-D- fruktosiltransferazların transfruktosilanlama hareketleriyle elde edilebilirler. Endüstriyel olarak sükrozdan FOS üretimi 2 şekilde gerçekleşir: 1) çözülebilir enzim kullanılan kesikli sistemle 2) bütün hücre veya immobilize enzimler kullanılarak sürekli sistemler [12].
Galaktooligosakkaritler, β-galaktosidazın transgalaktosilaz aktivitesini kullanarak laktoz şurubundan üretilirler. Enzim kaynaklarına bağlı olarak laktozdan GOS üretiminin sonuçları final ürün tipleri ve verimlerinde oldukça farklılık gösterirler. GOS miktarı enzim kaynağına bağlıdır ve toplam şekeri %1'den 45'e değiştirebilir. Oligosakkaritler sürekli sentezlenir ve bozulabilir [12].

IMO çeşitli fermente olmuş gıdalardan, soya fasulyesi ve baldan doğal olarak meydana gelir. Onlar enzimatik transfer reaksiyonlarının ürünleridir. Nişasta başlangıç materyalidir ve 3 ayrı enzim tarafından hareket eder. İlk

olarak, nişasta α-amilaz ve pullulanaz tarafından maltooligosakkaritlere hidrolize olur. Sonra α -glukosidaz α-1,4 bağlı maltodekstrinlerin α-1,6 ya dönüşmesini sağlar. Glukoz ürünün daha yüksek konsantrasyonunu üretmek için uzaklaştırılır. Son üründe biriken IMO'nun maksimum konsantrasyonu yaklaşık %40'tır [12].

Kimyasal Sentez

Laktulaz, sadece kimyasal sentezle elde edildiğinden prebiyotikler arasında bilinmez. Fruktozdaki glukozil parçasını dönüştüren borat veya sodyum hidroksit trafından katalizlenen laktozun izomerizasyonu ile üretilir [28].

PREBİYOTİK ÜRETİMİ İÇİN YENİ EKONOMİK KAYNAKLAR ve TEKNİKLER

Soya oligosakkaritleri, raffinoz ve stakiyoz prebiyotik olarak bilinir. Soya tohumları izoflavonlar açısından zengin olduğundan bu prebiyotiklerin kaynağı olarak araştırılmıştır. Fermantasyon özellikleri, insan dışkısı kullanılarak SHIME reaktörde (insan bağırsak mikrobiyal ekosisteminin benzeri) değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda model sistem Tank 3, 4 ve 5 olarak sırasıyla çıkan kolon, enine kolon ve inen kolon olarak verilmiştir. Bu tanklardaki lactobacilli sayısında önemli derecede artış görülmüştür: Tank 5 (1.0 log), Tank 4 (1.81 log) , Tank 3 (2.73 log). Bifidobakteria sayısında ise bir değişime rastlanmamıştır [29].

Yeni prebiyotik kaynağı olarak bitki hücre duvarı polisakkaritleri dikkat çekmektedir. Bitki hücre duvarı polisakkaritlerinden birçok yeni oligosakkaritleri üretmek için spesifik glikanazlar kullanılmıştır. Endogalaktanazlar tarafından soyadan arabinogalaktooligosakkaritler yapılabilir, endoarabinanazlar tarafından şeker kamışından arabinooligosakkaritler yapılabilir. Ramnogalakturunaoligosakkaritler ramnogalakturonazlar tarafından elmadan üretilebilir, arabinoksilooligosakkaritler ksilanaz tarafından buğdaydan yapılabilir ve galakturonaoligosakkaritler endogalakturunazlar tarafından poligalakturonik asitten yapılabilir. Bu materyaller Bifidobacterium sp., Lactobacillus sp., Bacteroides sp., Clostridium sp., Escherichia coli ve Klebsiella pneumoniae içeren ham kültürlerde test edilmiştir [29].

Pektik oligosakkaritler enzim membran reaktörlerinde yapılmıştır ve prebiyotik özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda bu prebiyotiklerin FOS kadar seçici olmadığı bulunmuştur [29].

Prebiyotiklerin yeni sınıfı gentio-oligosakkaritlerdir. Gentio-oligosakkaritler kesikli kültür fermentasyonlarında test edildi. Bifidobakteria ve laktobacilli sayısında önemli artışlar gözlenmiştir. Bütirat ve propiyonat seviyesi FOS deki kadar yüksek değildir. Ancak Gentiooligosakkarit insanlar üzerinde denenmemiştir. Lactobacilli'nin bazı türleri ekstraselular levan üretimi sağlar ve bunlar prebiyotik özellik gösterirler. Fekal kesikli kültürlerde *Lactobacillus sanfranciscensis*'in iki suşunda ekstrapolisakkaritler test edilmiştir [29].

FOS üretimi için metotlar olmasına rağmen, çoğu araştırmacı endüstriyel boyutta reaksiyonun etkinliği ve verimini artırmak için yollar araştırmıştır. Çeşitli enzim kaynakları ve reaksiyon şartları enzim immobilizasyon tekniklerini optimize etmek için kullanılmıştır. Şimdiye kadar, membran reaktör sisteminin bir parçası olarak seramik membranlar, gluten ve polimerik boncuk kullanılmıştır. Prebiyotiklerin üretim teknikleri sınırlıdır ve kesikli sistemlerde veya sürekli yada kesikli immobilize sistemlerde serbest enzim kullanımını içermektir [29].

Prebiyotik ve oligosakkarit elde etmek için mevcut sistemler enzim kaynağı, substrat ve reaksiyon şartlarının yapısı ve konsantrasyonu gibi birçok faktör tarafından etkilenen düşük verime sahiplerdir, sonuç olarak ürün fiyatında artış olmaktadır. Glikosid hidrolazlar kullanılarak laktozdan GOS sentezinin verimi yüksek konsantrasyonlu başlangıç laktoz çözeltisi kullanılarak, suyun termodinamik aktivitesinin azaltılmasıyla, reaksiyon alanından son ürün ve/veya inhibitörlerin uzaklaştırılmasıyla ve enzimlerin modifiye edilmesiyle artabilmektedir [30]. Panesar et al. [31] reaksiyon alanındaki su içeriğinin azaltılmasıyla oligosakkarit veriminin arttığını belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra sulu 2 fazlı sistem kullanıldığı zaman *A. aculeatus'* dan elde edilen ham enzim fraksiyonuyla maksimum GOS' da glukoz/galaktoz oranı 1.1 den 12.7' ye artmıştır. Sonuç olarak, sulu alanlarda geleneksel sentezlemeye karşı prebiyotik verimini geliştirmek için organik alanda prebiyotiklerin enzimatik üretimi artan bir araştırma alanı sunmaktadır. Ek olarak, enzim yapının optimizasyonu, laktozdan GOS veriminin maksimum artışına katkı sağlayabilir. Genel olarak, biyomastan oligosakkarit üretimi için enzimatik uygulamalar ticari seviyede çok pahallı işlemlerdir. Ticari üretim fiyatlarının azalması için farklı uygulamalar vardır: ham enzim karışımının kullanımı, sonraki kesikli sistemde kullanılabilirlik için enzimin geri dönüşümü boyunca yeniden kullanılabilir enzimlerin avantajları enzimlerin immobilizasyonunu sunar, daha az ksiloz ve ksilooligosakkaritlerin daha yüksek verimlerini üreten seçici ksilanazların kullanımı [28].

PREBİYOTİKLERİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Prebiyotikler bağırsak bakterileri için fermente edilebilen karbohidrat kaynaklarıdır. Kısa zincirli yağ asitlerinin üretimiyle ve toksigenik bakteri reaksiyonlarının baskılanmasıyla kolon kanseri risklerinin indirgenmesinde oldukça önemli etki sağlar [32]. Bağırsak pH'ını düşürerek kalsiyum, magnezyum ve demir iyonları gibi minerallerin çözünürlüğünü ve emilimini artırırlar. Ayrıca kalsiyum-kısa zincirli yağ asitleri etkileşimi de mineral emilimini artırır. Uzun süreli tüketimleri sonucunda kemik yoğunluğunu artırmasıyla osteoporoz riskini azaltmaktadır. Bağırsak çevresinin asidik olmasını sağladıklarında prokarsinojenik enzim (7α-hidroksilaz ve nitroredüktaz) aktivitesinin azalmasına neden olur [33]. Bağırsak floralarında *Bifidobacterium sp.* sayıları azalmış, yerine zararlı bakterilerin geçtiği yaşlı bireylerde uygulandığında kabızlık gibi bağırsak sorunlarının giderilmesinde oldukça etkilidir. Bebeklerde probiyotik sayısını artırdığından dolayı gıda alerjilerini önlemede etkilidir.

Probiyotik *Bifidobacterium sp.* ile birlikte prebiyotikler kullanıldığında fizyolojik ve sağlık etkileri görülmektedir. Prebiyotikler bifidobakterilerin sayılarının artmasını sağlar ve böylece bifidobakterilerin sağlığa faydalı etkilerinin ortaya çıkmasında önemlidirler [34]. Ayrıca prebiyotikler, patojen bakteri çoğalmasını inhibe etmesi, laksatif etki yapması, ishal gelişme riskini, serum trigliserid düzeylerini, hayvan deneylerinde postprandial glukoz ve insülin düzeylerini düşmesini sağlar. Oligosakkaritler kendileri hücre yüzey reseptör analoğu gibi hareket eder, patojen mikroorganizmaları kendisine bağlayıp dışkı ile atılmasını sağlar [35].

SONUÇ

Prebiyotikler insan sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiplerdir. Gastrointestinal ve immun sistemi zenginleştiren probiyotik bakterilerin büyümesini sağlayan fermente edilebilir karbonhidratlardır. Ayrıca prebiyotikler kalsiyum ve magnezyum absorbsiyonunu artırır, kan glukoz seviyesini etkiler ve plazma lipitlerini geliştirir. İnsanlardaki prebiyotiklerin sağlık üzerine etkisini doğrulamak için uzun süreli klinik denemeler gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Huebner, J., Wehling, R.L., Hutkins, R.W., 2007. Functional activity of commercial prebiotics. *International Dairy Journal* 17: 770–775.

[2] Huebner, J., Wehling, R.L., Parkhurst, A., Hutkins, R.W., 2008. Effect of processing conditions on the prebiotic activity of commercial prebiotics. *International Dairy Journal* 18: 287–293.

[3] Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, J.M., Bressollier, P., 2013. An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field. *LWT - Food Science and Technology* 50: 1-16.

[4] Li, D., Kim, J.M., Jin, Z., Zhou, J., 2008. Prebiotic effectiveness of inulin extracted from edible burdock. *Anaerobe* 14: 29–34.

[5] Al-Sherajia, S.H., Ismail, A., Manap, M.Y., Mustafa, S., Yusof, R.M., Hassan, F.A., 2013, Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods* 5: 1542 –1553.

[6] Phillips, G., 2013. Dietary fibre: A chemical category or ahealth ingredient? *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* 1: 3–9.

[7] Gibson, G.R., 2004. Fibre and effects on probiotics (the prebiotic concept). *Clinical Nutrition Supplements* 1: 25–31.

[8] Courtin, C.M., Swennen, K., Verjans, P., Delcour, J.A., 2009. Heat and pH stability of prebiotic arabinoxylooligosaccharides, xylooligosaccharides and fructooligosaccharides. *Food Chemistry* 112: 831–837.

[9] Wang, Y., 2009, Prebiotics: Present and future in food science and technology. *Food Research International* 42: 8–12.

[10] Mussatto, S.I., Mancilha, I.M., 2007. Non-digestible oligosaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers* 68: 587–597.

[11] Gibson, G.R., Roberfroid, M.B., 2008. Handbook of prebiotics, CRC Press.

[12] Gibson, G. R., Rastall, R. A., 2006. Prebiotics: Development & Application, John Wiley & Sons.

[13] Kuriki, T., Yanase, M., Takata, H., Takesada, Y., Imanaka, T., Okada, S., 1993. A new way of producing isomalto-oligosaccharide syrup by using the transglycosylation reaction of neopullulanase. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 953-959.

[14] Cho, S.K., Eom, H.J., Moon, J.S., Lim, S.B., Kim, Y.K., Lee, K.W., Han, N.S., 2014. An improved process of isomaltooligosaccharide production in kimchi involving the addition of a *Leuconostoc* starter and sugars. *International Journal of Food Microbiology* 170: 61–64.

[15] Zhang, L., Jiang, Y., Jiang, Z., Sun, X., Shi, J., Cheng, W., Sun, Q., 2009. Immobilized transglucosidase in biomimetic polymer–inorganic hybrid capsules for efficient conversion of maltose to isomaltooligosacharcides. *Biochemical Engineering Journal* 46: 186–192.

[16] Taubman, M.A, Nash, D.A., 2006. The scientific and public-health imperative for a vaccine against dental caries. *Nat. Rev. Immunol.* 6: 555-563.

[17] Miyake, T., Yoshida, M., Takeuchi, K., 1981. Imparting low or anticariogenic property to orally usable Products. US Patent 4: 518,581.

[18] Ishwarya, S. P., Prabhasankar, P., 2013. Fructooligosaccharide – Retention during baking and its influence on biscuit quality. *Food Bioscience* 4: 68–80.

[19] Yun, J.W., 1996. Fructooligosaccharides-occurance, preparation and application. *Enzyme Microb. Technol.*19: 107-117.

[20] Hoseinifar, S.H., Khalili, M., Rostami, H.K., Esteban, M.A., 2013. Dietary galactooligosaccharide affects intestinal microbiota, stress resistance, and performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. *Fish & Shellfish Immunology* 35: 1416–1420.

[21] Gosling, A., Stevens, G.W., Barber, A.R., Kentish, S.E., Gras, S.L., 2010. Recent advances refining galactooligosaccharide production from lactose. *Food Chemistry* 121: 307–318.

[22] Bouhnik, Y., Flourie, B., D'Agay-Abensour, L., 1997. Administration of transgalactooligosaccharides increases fecal bifidobacteria and modifies colonic fermantation metabolism in healthy humans. *J. Nutrition* 127: 444-448.

[23] Debon, J., Prudêncio, E.S., Petrus, J.C.C., 2010. Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. *Journal of Food Engineering* 99: 128–135.

[24] Apolinário, A.C., Damasceno, B.P.G.L., Beltrão, N.E.M., Pessoa, A., Converti, A., Silva, J.A., 2014. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers* 101: 368–378.

[25] Pompei, A., Cordisco, L., Raimondi, S., Amaretti, A., Pagnoni, U.M., Matteuzzi, D., Rossi, M., 2008. In vitro comparison of the prebiotic effects of two inulin-type fructans. *Anaerobe* 14: 280–286.

[26] Roberfroid, M.B., 2000. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *Am. J. Cli. Nutr.* 71: 16825-16875.

[27] German, B., Schiffrin, E. J., Reniero, R., Mollet, B., Pfeifer, A., Neeser, J.R., 1999. The development of functional foods: lessons from the gut. *Tibtech*. 17: 492-499.
[28] Ötleş, S., 2014. Probiotics and Prebiotics in Food. Nutrition and Health, CRC Press.
[29] Rastall, R. A., Maitin, V., 2002. Prebiotics and synbiotics: towards the next generation. *Current Opinion in Biotechnology* 13: 490–496.
[30] Torres, D.P.M., Goncalves, M.D.F., Teixeira, J.A., Rodrigues, L.R., 2010. Galactooligosaccharides: production, properties, applications, and significance as prebiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9: 438–454.
[31] Panesar, P.S., Panesar, R., Singh, R. S., Kennedy, J. F., Kumar, H., 2006. Microbial production, immobilization and applications of β-D-galactosidase. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81: 530–543.
[32] Reddy, B. S., 1998. Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. *Br. J. Nutr.* 80: 219-223.
[33] Lamprecht, S. A., Lipkin, M., 2003. Chemoprevention of colon cancer by calcium, vitamin D and folate: molecular mechanisms. *Nat. Rev. Cancer* 3: 601-614.
[34] Ishibashi N., Shimamura, S., 1993. Bifidobacteria: Research and development in Japan. *Food Technol*. 47: 126-135.
[35] Coşkun, T., 2006. Pro-, Pre- ve sinbiyotikler. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi* 49: *128-14.*