



**Optimum Koşullarda Üretilen Ekzopolisakkaritlerin (EPS)  
Gıda Tozlarının Gıda Yüzeylerine Yapışmasında Arayüz  
Olarak Kullanılabilirliklerinin Belirlenmesi**

**Program Kodu: 3501**

**Proje No: 215O307**

Proje Yürütücüsü:  
**Dr. Öğr. Üyesi Ertan ERMiŞ**

Araştırmacı:

Prof. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ

Danışman:

Doç. Dr. Enes DERTLİ

Bursiyerler:

Ecem POYRAZ

Erva Nur KARASU

KASIM 2018  
İSTANBUL



## ÖNSÖZ

Atıştırmalık (cips, kraker vb) gıdalar dünya genelinde önemli bir satış hacmine sahiptir ve gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Bu ürünler çoğunlukla pişirildikten veya fırınlandıktan sonra hem ürünün tadını hem de görünüşünü önemli derecede etkileyen aroma tozları ile kaplanırlar. Bu şekilde tüketici tercihi büyük oranda etkilenir. Tuzlu veya tatlı atıştırmalık ürünlerin yüzeylerine aroma tozlarının yapışması genellikle yağ veya şeker çözeltisi kullanılarak sağlanmaktadır. Ancak, son yıllarda tüketici tercihleri daha sağlıklı ve kalorisi azaltılmış ürünlerden yana değişmektedir. Bu nedenle hem sağlığı olumlu yönde etkileyen, hem de istenilen kalitede ürünlerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, bu aroma tozlarının yüzeylere eşit dağılması ve iyi bir yapışma özelliği göstermesi ürün kalitesi ve ekonomik kayıpların azaltılması açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada temel amaçlar: seçilen bazı LAB suşlarından en fazla EPS üretimi yapılan optimum üretim koşullarının belirlenmesi; elde edilen EPSlerin karakterizasyonu; cips materyali yüzeylerine EPS uygulandığında seçilen farklı özelliklerde gıda tozu örneklerinin yapışma davranışlarının belirlenmesi; referans olarak Ayçiçek yağı ve destile su ile karşılaştırılması ve matematiksel denklemler ile partiküllerin yapışma kuvvetlerinin hesaplanmasıdır.

Araştırma süresince çalışmalara önemli ölçüde katkıda bulunan ve her zaman araştırma ekibi ile birlikte proje sorumluluğunun bilincinde çalışan proje bursiyerleri Ecem Poyraz ve Erva Nur Karasu'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca proje faaliyetlerine önemli ölçüde ve özverili bir şekilde katkı sağlayan Ayşe Asena Kurnaz'a; birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum proje ekibine ve bu projenin gerçekleşmesinde emekleri olan herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya finansal destek vererek araştırmanın yürütülmesine olanak sağlayan TÜBİTAK TOVAG - Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik Araştırma Grubu'na proje ekibi adına teşekkür ederim.

Kasım 2018

Dr. Öğr. Üyesi Ertan ERMIŞ



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLO LİSTESİ .....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
2.1 Atıştırmalık ürünler.....	2
2.2 Aroma tozları ile kaplama ve adhezyon .....	2
2.3 Adhezyon ölçüm metotları .....	3
2.3.1 Santrifüj metodu .....	4
2.4 Exopolisakkaritler.....	5
2.4.1 Exopolisakkaritlerin yapısı .....	6
2.5 Laktik asit bakterileri .....	7
2.6 Laktik asit bakterilerinden Ekzopolisakkarit (EPS) üretimi .....	8
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	12
3.1 EPS üretimi ve izolasyonu .....	12
3.1.1 Fenol-sülfirik asit testi .....	12
3.1.2 Partikül boyut analizi.....	13
3.2 EPSlerin reolojik, kimyasal ve moleküler özelliklerinin belirlenmesi.....	13
3.2.1 Reolojik özelliklerinin belirlenmesi.....	13
3.2.2 Şeker gruplarının HPLC ile analizi .....	14
3.2.3 Moleküler ve Mikroyapısal Özelliklerin Belirlenmesi .....	15
3.3 Cips örneklerinin hazırlanması.....	15
3.4 EPSlerin seçilen toz örneklerin gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerinin belirlenmesi 16	
3.4.1 EPS çözeltisinin hazırlanması ve uygulanması .....	16
3.4.2 Adhezyon (yüzeye yapışma) testi: .....	17
3.4.3 Gıda tozlarının hidrofilik/hidrofobik özelliklerinin belirlenmesi.....	18
3.5 Yüzeylerin SEM analizi .....	18
3.6 Duyusal analizler: .....	19
3.7 Matematiksel analizler .....	19
3.7.1 Elde edilmiş deneysel verilerin matematiksel modellemelerden elde edilmiş veriler ile karşılaştırılması: .....	19
3.8 İstatistiksel Analizler .....	21

4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	22
4.1 Doğal ortamlarından (ekşi hamur ve yoğurt) izole edilmiş bakteri (LAB) suşlarının temini ve EPS üretimi çalışmaları .....	22
4.2 Elde edilen EPS'lerin kimyasal, moleküler ve reolojik karakterizasyonu .....	26
4.3 Elde edilen EPSlerin partikül boyut analizi ve SEM analizi .....	26
4.3.1 FTIR analizleri .....	27
4.3.2 GPC analizleri (Boyut Eleme Kromatografisi ile analiz) .....	31
4.3.3 DSC analizleri .....	35
4.3.4 EPSlerin monosakkarit içerikleri.....	36
4.3.5 CLSM görüntüleme .....	37
4.3.6 Reolojik analizler.....	38
4.4 Santrifüj tüpü dizaynı ve üretimi .....	40
4.5 Testlerde kullanılmış olan cipslerin ön deneme üretimlerinin gerçekleştirilmesi .....	41
4.6 Toz örneklerinin nem ve hidrofobisite analizleri.....	42
4.7 EPS'lerin tuz partikülleri ve cam küreciklerin gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerinin belirlenmesi .....	42
4.8 EPS'lerin çeşitli gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerinin belirlenmesi 46	
4.9 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi .....	49
4.10 Duyusal analiz .....	52
4.11 Matematiksel hesaplamalar .....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	55
KAYNAKLAR.....	56
EKLER .....	65



## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Laktik asit bakterilerinden elde edilen fonksiyonel ekzopolisakkarit ve oligosakkaritlerin kullanım alanları (Patel ve ark., 2012). .....	6
<b>Tablo 2.</b> Bazı HoPS'leri üreten LAB türleri (Patricia Ruas-Madiedo ve ark., 2002; Torino, Font de Valdez, ve Mozzi, 2015). .....	9
<b>Tablo 3.</b> EPS üretimi için seçilen LAB türleri ve izole edildikleri kaynaklar.....	12
<b>Tablo 4.</b> Farklı inkübasyon şartlarında üretilen EPS miktarları .....	23
<b>Tablo 5.</b> Seçilen suşlar kullanılarak EPS üretilen parametreler .....	26
<b>Tablo 6.</b> EPS örneklerine ait FT-IR spektrumları bant aralıklarına karşılık gelen molekül yapıları .....	31
<b>Tablo 7.</b> GPC analizlerinde kullanılan çalışma şartları .....	32
<b>Tablo 8.</b> EPS örneklerinin GPC-RI kullanılarak elde edilmiş molekül ağırlıkları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	34
<b>Tablo 9.</b> EPS örneklerinin endotermik geçiş sıcaklık değerleri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	36
<b>Tablo 10.</b> Standart şeker çözeltisindeki monosakkaritlerin yaklaşık alıkonma süreleri .....	36
<b>Tablo 11.</b> EPS örneklerinin konsistens indeksi ve akış davranış indeksi verileri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	40
<b>Tablo 12.</b> Toz örneklerinin nem içerikleri, partikül büyüklükleri ve hidrofilik özellikleri.....	42
<b>Tablo 13.</b> Adhezyon kuvveti hesaplamada kullanılan parametreler ve değerleri .....	53
<b>Tablo 14.</b> Tuz ve cam partiküllerine uygulanan santrifüj dönme hızına bağlı olarak etki eden merkez kaç kuvvetleri.....	54

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1.</b> Pürüzsüz küre şeklindeki partikülün pürüzsüz yüzeye kapiler kuvvet ile yapışmasının şematik gösterimi .....	3
<b>Şekil 2.</b> Laktik asit bakterilerinden elde edilen ekzopolisakkaritlerin yapıları (Mende, Rohm, ve Jaros, 2016) .....	7
<b>Şekil 3.</b> a-Cips örneklerine şekil vermek için kullanılan kalıp, b-elde edilen cips örnekleri, c- ahşap pullar.....	16
<b>Şekil 4.</b> Cips örnekleri için kullanılan tüp dizaynı (a) ve tüplerin kullanılacağı santrifüj rotoru (b) ve tüpün rotor içerisindeki pozisyonu (c). A-tüpün üst kısmı, B-tüpün içerisinde boşluk olan alt kısmı, C-cips örneği, D-tüpün alt ve üst kısmını birarada tutan silindirik parça.....	17
<b>Şekil 5.</b> Fenol-sülfirik asit toplam karbonhidrat analiz metodu için oluşturulan kalibrasyon grafiği .....	23
<b>Şekil 6.</b> Elde edilen EPS'lerin 3 boyutlu yüzey grafikleri ile gösterimi (a- <i>Leuconostoc mesenteroides</i> Y35, b- <i>Lactobacillus plantarum</i> Y36, c- <i>Lactobacillus bulgaricus</i> Y39, d- <i>Lactobacillus plantarum</i> SC1, e- <i>Lactobacillus brevis</i> E25, f- <i>Lb. rhamnosus</i> GG).....	25
<b>Şekil 7.</b> A koşullarında üretilen toz EPS örneğine ait partikül boyut analizi.....	26
<b>Şekil 8.</b> Toz EPS partiküllerine ait SEM görüntüleri.....	27
<b>Şekil 9.</b> Elde edilen EPS'lerin karşılaştırmalı FTIR spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	28
<b>Şekil 10.</b> EPS örneklerine ait FTIR spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	30
<b>Şekil 11.</b> Elde edilen EPSlerin karşılaştırmalı GPC-RI spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	33
<b>Şekil 12.</b> EPS örneklerine ait GPC-RI spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	33
<b>Şekil 13.</b> EPS örneklerinin DSC kromatogramları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	35
<b>Şekil 14.</b> EPS'lerin HPLC analiz sonuçları .....	37
<b>Şekil 15.</b> EPS'lerin CLSM görüntüleri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	38

<b>Şekil 16.</b> EPS örneklerinin kesme gerilimi ölçümleri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir) .....	39
<b>Şekil 17.</b> Örnek tutucu tüp çizimleri (A-yandan görünüş, B-önden görünüş, C-arkadan görünüş, D-genel görünüş).....	40
<b>Şekil 18.</b> 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş örnek tutucu tüpler (üstte 50 mL hacimdeki tüpler ve altta 5 mL hacimdeki tüpler) .....	41
<b>Şekil 19.</b> Elde edilen mısır cipsleri .....	42
<b>Şekil 20.</b> Fırında pişirilerek üretilmiş cips örnekleri (solda), santrifüj tüpünde kırılmış olan cipsler (sağda).....	43
<b>Şekil 21.</b> Cam partiküller ahşap yüzeye yapışma davranışları (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C-%20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru) .....	44
<b>Şekil 22.</b> Tuz partiküllerinin ahşap yüzeye yapışma davranışları (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C-%20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru), .....	45
<b>Şekil 23.</b> Tuz partiküllerinin cips yüzeyine yapışma davranışları (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C-%20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru E- %40 EPS kuru) .....	46
<b>Şekil 24.</b> Gıda tozu örneklerinin ahşap yüzeye yapışma davranışları. N-nişasta, K-kakao tozu, X-Ksantan gamı, B-kırmızı biber tozu. (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C- %20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru) .....	48
<b>Şekil 25.</b> Gıda tozu örneklerinin cips yüzeyine yapışma davranışları. N-nişasta, K-kakao tozu, X-Ksantan gamı, B-kırmızı biber tozu. (A-Ayçiçek yağı, B-saf su, C- %20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru) .....	49
<b>Şekil 26.</b> Yüzeyle yapışmış olan cam ve tuz partiküllerinin SEM görüntüleri (A-EPS uygulanmış cam partikülleri, B- yağ uygulanmış cam partikülleri; C-EPS uygulanmış tuz partikülleri, D- yağ uygulanmış tuz partikülleri) .....	50
<b>Şekil 27.</b> EPS kullanılarak yüzeyle yapışmış olan çeşitli gıda toz partiküllerinin SEM görüntüleri (A-tuz, B-cam, C-kakao tozu, D-kırmızı biber tozu, E-nişasta, F-ksantan gam) ...	51
<b>Şekil 28.</b> Duyusal analiz sonuçları .....	52
<b>Şekil 29.</b> Partikül büyüklüğüne bağlı olarak etki eden adhezyon kuvveti değerleri.....	54



## ÖZET

Bazı mikroorganizmalar ve özellikle de laktik asit bakteri (LAB) türleri buldukları ortamda hücre dışına ekzopolisakkaritler (EPS) gibi polimerik maddeler salgırlar. Bu maddeler, gıda maddelerinin yapısını düzelten özellikte ve teknolojik yönden faydalı olmalarının yanında insan sağlığı üzerine de birçok faydalı etkiler gösterebilmektedirler. EPS'lerin buldukları gıda ürünlerinin reolojik ve tekstürel özelliklerine etkileri konusunda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca mikrobiyal hücrenin doku veya katı yüzeylere yapışmasına etkisi konusunda da çalışmalar yapılmıştır.

Bu proje kapsamında bazı laktik asit bakterilerinden elde edilen EPSlerin bazı gıda tozlarının katı yüzeylere yapışmasına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla EPS üretme yeteneği olan altı farklı LAB türü seçilip, yüzey yanıt yöntemi kullanılarak en fazla EPS üretiminin gerçekleştiği inkübasyon parametreleri tespit edilmiş ve bu koşullarda EPS üretimi yapılmıştır. Üretilen EPS miktarı 14.8 ile 42.5 gL<sup>-1</sup> arasına değişim göstermiştir. En çok EPS üretilen inkübasyon parametreleri MRS Broth ortamında 35 °C, 18 saat ve pH 6.5 olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda üretilen EPSlerin reolojik, mikroyapısal ve moleküler özellikleri Reometre, GPC, FTIR, HPLC ve DSC cihazları kullanılarak belirlenmiştir.

Ahşap pul ve mısır cipsi yüzeyleri Ayçiçek yağı, su ve değişen konsantrasyonlarda EPS çözeltisi (0, 20 and 40 %) uygulandıktan sonra cam tozu, kaya tuzu tozu ve seçilen bazı gıda tozları ile kaplanarak yapışma (adhezyon) testleri gerçekleştirilmiştir. Yapışma testleri için özel bir santrifüj tüpü dizayn edilerek 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiş ve kullanılmıştır. Elde edilen veriler 100 µm altındaki partiküllerin diğer fraksiyonlara göre daha iyi yapışma gösterdiğini ortaya koymuştur. Santrifüj dönme hızının (1000, 2000, 3000 ve 4000 rpm) artırılması ile yüzeylerden kopan partikül miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Ayçiçek yağının cam tozlar için daha iyi bir yapışma gösterdiği, buna karşın tuz partikülleri için EPS çözeltilerinin daha iyi yapışma sağladığı gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** adhezyon, ekzopolisakkarit, laktik asit bakterileri, aroma tozları, santrifüj



## ABSTRACT

Some microorganisms, particularly lactic acid bacteria (LAB) species secrete polymeric materials such as Exopolisaccharides (EPS) outside the cell in their environment. These substances improve the structure of foodstuffs and technological characteristics as well as show various beneficial effects on human health. EPSs could change the rheological and textural properties of foods in positive ways. Indeed, purified polysaccharides of bacterial origin may be used in certain foods. Beside this, the adhesive properties of EPSs has been studied. In this project, it was aimed to investigate the effects of EPSs on adhesion behaviour of food powders onto food surfaces. For this purpose, six different LAB species have been chosen and Response Surface Methodology was employed to determine the incubation parameters to produce high yield of EPS. The amount of EPS produced ranged from 14.8 ile 42.5 gL<sup>-1</sup>. The incubation parameters which higher yield of EPS obtained were noted as 35 °C, 18 hours and pH 6.5. Rheometer, GPC, FTIR, HPLC, SEM and DSC instruments were used to characterize the EPS properties.

Glass powder, salt powder and selected food powders were applied on wood veneer and corn chip surfaces that had been coated using sunflower oil, water and EPS solutions with varying concentrations (0, 20 and 40 %) to understand the adhesive properties of EPSs on food surfaces. The data obtained depicted that smaller particles (below 100 µm) showed similar or better adhesion than other fractions for almost all runs. Increasing centrifugal speed from 1000 to 4000 rpm resulted in more particles detached from the surfaces for most of the runs. Sunflower oil exhibited better adhesive properties when glass powder used. However, EPS solutions improved salt powder adhesion especially after drying the surfaces after powder coating when compared to oil.

**Keywords:** adhesion, exopolysaccharide, lactic acid bacteria, seasoning powder, centrifuge



## 1. GİRİŞ

Bazı bakteri suşları ekzopolisakkarit (EPS) adı verilen polisakkarit polimerleri salgırlar. Ekzopolisakkaritler (EPS) gıda maddeleri ile etkileşiminde bazı fonksiyonel ve teknolojik özellikler gösterebilmesi ve insan sağlığı üzerine birçok faydalı etkiler göstermesinden dolayı son yıllarda ilgi çekmektedir. Bunların dışında EPS'lerin gıda dışı materyallerde (ahşap ve plastik) yapışma özelliği gösterdiği yapılan bazı çalışmalarda ortaya konmuştur. Bu tür özelliklerinden dolayı EPS üreten mikroorganizmalar ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedirler. Bu nedenlerden ötürü, literatürde EPS üreten çeşitli bakteri suşlarının izolasyonu ve identifikasyonu üzerinde çok sayıda araştırma yapılmış, ancak elde edilen EPS'lerin gıda yüzeylerinde yapışma özelliği konusunda yapılan çalışmaya ratlanmamıştır. Bu projede ise seçilen bazı LAB türlerinin ürettiği EPS'lerin kimyasal karakterizasyonu, maksimum verim ile EPS üreteceği şartların optimizasyonu ve EPS'lerin gıda yüzeylerinde gıda tozlarının yapışmasına etkilerinin detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Proje kapsamında EPS üretme yeteneğine sahip olan bazı laktik asit bakteri suşları kullanılarak maksimum verim ile EPS kütlesi ürettikleri inkübasyon parametreleri belirlenmiş ve üretilen EPS yapılarının fiziko-kimyasal ve kimyasal özelliklerinin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen EPS'lerin gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerini detaylı olarak araştırılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yeni bir santrifüf tüpü dizaynı yapılarak testlerde kullanılmıştır. EPS'lerin gıda yüzeylerinde uygulanması sonrasında seçilen bazı gıda tozları ile kaplanan yüzeylere değişen dönme hızlarında uygulanan ayırma (detachment) kuvveti ile oluşan gıda tozu kayıplarının miktarsal olarak belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile atıştırmalık ürün (snack foods) üretim ve ambalajlama aşamalarında ortaya çıkan gıda tozu dağılımı ve yapışma özelliklerinin daha iyi anlaşılması, buna bağlı olarak EPS'lerin yapıştırıcı olarak kullanım potansiyelleri ve bu şekilde fonksiyonel ürün geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Gıda endüstrisinde arzu edilen düşük yağ ve düşük kalori içerikli gıda ürünlerini kazandırmak amacıyla üründen beklenen özelliklere de bağlı olarak kullanılan, yağ, şeker ve tuz (gıda tozları için taşıyıcı) gibi gıda bileşeni gruplarının kullanım düzeylerinin minimum düzeye çekilerek daha ekonomik, düşük kalorili, sağlıklı ve doğal ürünlerin üretimi için bilimsel alt yapının oluşturulması düşünülmüştür.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 Atıştırılmalık ürünler

Atıştırılmalık gıdalar (cips, kraker vb) dünya genelinde yıllık ortalama 25 milyar dolarlık satış hacmi ile gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptir (Enggalhardjo ve Narsimhan, 2005). Bu ürünler çoğunlukla pişirildikten veya fırınlandıktan sonra tat ve aroma zenginleştirmek amacıyla aroma tozları ile kaplanırlar. Bu aroma tozlarının hem ürünün tadını hem de görünüşünü ve böylece tüketici tercihini büyük oranda etkilediği belirtilmektedir (Kuntz 1996). Tuzlu atıştırılmalık ürünler genellikle %6-12 arasında değişen miktarlarda aroma tozu ile kaplanırlar. Bunun %1,5-2'lik kısmını tuz oluşturur (Kuntz 1996). Bu aroma tozlarının yüzeylere eşit dağılması ve iyi bir yapışma özelliği göstermesi ürün kalitesi ve ekonomik kayıpların azaltılması açısından önem arz etmektedir.

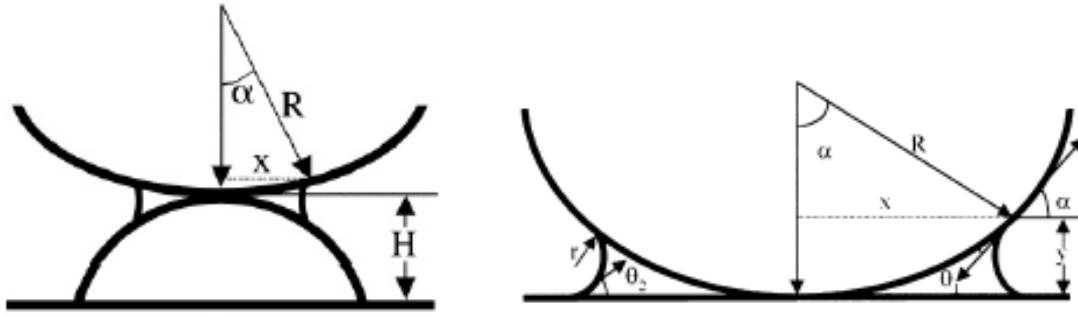
Toz partiküllerinin yüzeylere yapışma gücü (adhezyon) ürün kalitesini, görünüşünü, tadını ve aroma tozu kayıplarının miktarlarını etkileyen önemli bir role sahiptir. Geleneksel olarak aroma tozlarının atıştırılmalık ürünlerin (cips, kraker vb) yüzeylerine yapıştırılması için yağ veya şeker çözeltisi kullanılmaktadır. Ancak tüketici tercihleri az yağlı/şekeli düşük kalorili gıdalar doğru yönelmektedir ve bu da alternatif işleme yöntemlerinin araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

### 2.2 Aroma tozları ile kaplama ve adhezyon

Yüzeylere toz yapışması, çeşitli gıda uygulamalarında ve işlemlerinde, örneğin atıştırılmalık ürünlerde (cips, kraker ve şekerleme ürünleri vb) çeşitli baharat tozları veya toz şeker kaplamasında önemli bir rol oynar (Ermis, Farnish, Berry, ve Bradley, 2011; Likitwattanasade ve Barringer, 2013). Yağ veya şeker çözeltisi, aroma özelliğindeki gıda tozlarını gıda yüzeyine yapıştırmak için kullanılmaktadır. Ancak, tüketici talebinin son yıllarda kalorisi azaltılmış ve daha sağlıklı gıdalara yönelmesi nedeniyle, araştırmacılar alternatif çözümler bulmaya çalışmaktadırlar (Armstrong ve Barringer, 2013). Tozlar, hava akımı yardımıyla veya yerçekimi yardımıyla disperse edilerek gıda yüzeylerine uygulanabilmektedir (Likitwattanasade ve Barringer, 2013). Partikül büyüklüğü ve morfolojisi, moleküller arası etkileşimler, elektrostatik kuvvetler ve partiküller arası oluşan köprüleri gibi faktörler yapışma (adhezyon) davranışını etkiler.

Adhezyon iki maddenin yapışmasını ifade eden, yüzeyler arası bağların oluşumunu olduğu kadar iki yüzeyin ayrılması için gerekli olan mekanik yükü/kuvveti de kapsayan fiziksel bir olgudur (Michalski, Desobry, ve Hardy, 1997; Mittal ve Demejo, 1995). Partiküllerin birbirine yaklaşması sonucu birarada tutunmalarını sağlayan çekim kuvvetlerinin gücü partiküllerin fiziksel yapılarına ve partiküllerin etkileşim mekanizmasına bağlıdır (Papadakis ve Bahu, 1992). Partiküller ve yüzey arasındaki en belirgin adezyon kuvvetleri, van der Waals,

elektrostatik ve kılcal (kapiler) kuvvetler olarak belirtilmektedir (Salazar-Banda, Felicetti, Gonçalves, Coury, ve Aguiar, 2007). Eğer gıda yüzeyine herhangi bir sıvı uygulanmamışsa genellikle elektrostatik (Fes) ve van der Waals (Fvdw) kuvvetleri baskın haldedir. Bununla birlikte eğer yağ veya çözelti halinde şeker uygulanmışsa kapiler kuvvet ( $F_c$ ) (Şekil 1) daha baskın hale gelmektedir (Adhikari, Howes, Bhandari, ve Truong, 2001; Ermis, Farnish, Berry, ve Bradley, 2009a; Ermis ve ark., 2011; Schubert, 1987). Adhezyon kuvvetinin büyüklüğü, yüzeydeki sıvının hidrofobik yapısı ile tozdaki partiküllerin polaritesine bağlı olarak bu sıvıya karşı gösterdikleri yapışma isteğine göre şekillenir (Dopfer ve ark., 2013). Partiküllerin birim hacmi başına partikül temas alanı ve çekim gücü yapışma davranışını etkileyen diğer faktörlerdir (Halim ve Barringer, 2007). Küçük partiküllerin aglomerasyonu, daha büyük boyutta partiküller oluşturur ve bu nedenle birim hacimdeki partikül temas alanını azaltır. Katı yüzey pürüzlülüğü ve sıvı özelliklerinin yüzey gerilimi, yapışma davranışında önemli rol oynar (Adhikari, Howes, Shrestha, ve Bhandari, 2007).



**Şekil 1.** Pürüzsüz küre şeklindeki partikülün pürüzsüz yüzeye kapiler kuvvet ile yapışmasının şematik gösterimi

### 2.3 Adhezyon ölçüm metotları

Tozların yüzeylere yapışma kuvvetini karakterize etmek için günümüze kadar bazı metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; yüzeye dikey ya da yatay olarak sıvı veya hava akımı uygulanması (Shukla ve Henthorn, 2009), atomik kuvvet mikroskobu (Goode, Bowen, Akhtar, Robbins, ve Fryer, 2013; Mittal ve Demejo, 1995), santrifüj (Salazar-Banda ve ark., 2007), elektrik alanı (Takeuchi, 2006) ultrasonik veya mekanik titreşim uygulaması (Otlés, 2008; Vahdat, Azizi, ve Cetinkaya, 2013), darbe uygulaması (Ermis ve ark., 2009a) şeklinde sıralanabilir. Bu konuda geliştirilen teknikleri Michalski ve ark. (1997) rapor etmişlerdir. Ancak geliştirilen bu metotların büyük bir çoğunluğu uygulamaya özgüdür ve genel kullanım açısından limitleyici faktörlere sahiptirler (Hu, Kim, Park, ve Busnaina, 2010). Bu konuda en basit metot, yüzeye yapışan tozların geriye kalanlarının ağırlıklarının tartılmasıdır. Tozların yüzeylere yapışma kuvvetinin ölçülmesi için geliştirilen bir başka pratik metot ise mekanik titreşimli tabla hareketi sonucu gıda yüzeyinden kopan tozların tartılması şeklindedir (Michalski

ve ark., 1997; Suderman ve Cunningham, 1981). Ermis ve ark. (2009) ve Ermis ve ark. (2011) bu metoda dayalı yeni bir adhezyon test cihazı geliştirmişler (serbest düşme sonucu çarpma ilkesine dayalı) ve elde ettikleri sonuçları farklı tekniklerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. AFM ve santrifüj metotları diğer metotlara göre daha güvenilir, genel kullanıma uygun ve kesin sonuçlar vermekle birlikte AFM'nin tekil partikül üzerinde ölçüm yapması ve pahalı olması en önemli dezavantajlarıdır.

### 2.3.1 Santrifüj metodu

Gıda tozlarının parçacık-yüzey yapışma gücünü belirlemek için kullanılan metotlardan biri de santrifüj kuvvetini kullanılmasıdır (Ermis ve ark., 2011; Salazar-Banda ve ark., 2007). Yöntem, değişken açısal hızların uygulanmasına ve üretilen merkezkaç kuvveti sonucunda yüzeyden ayrılan partiküllerin miktarının belirlenmesine dayanmaktadır.

Santrifüj metodu ile cips yüzeyindeki toz partiküllerinin adhezyon kuvvetinin sayısal olarak ölçümü yapılabilmektedir. Partiküllerin adhezyon kuvvetini ölçmede santrifüj kuvvetinin kullanımı, ağırlığı belirlenmiş partikül ile yüzey arasındaki adhezyon kuvvetinden güçlü olan ve dolayısıyla partikülün yüzeyden kopmasını sağlayan eşik dönme devir sayısının tespiti esasına dayalıdır. Partiküllerin yüzeylerden koparılması için gereken kuvvet, partikülün büyüklüğüne ve dolayısıyla da ağırlığına bağlıdır (Zimon, 1982).

Partiküle uygulanan santrifüj merkezkaç kuvveti ( $F_{cen}$ ) toplam adhezyon kuvvetine eşit veya büyük olduğunda partikül yüzeyden kopar; küçük olduğunda ise partikül yüzeyde yapışık şekilde kalır. Partiküle yüzeyden kopma yönünde etki eden santrifüj kuvveti aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir (Lam ve Newton, 1991):

$$F_{cen} = M\omega^2d_c \quad (1)$$

Burada  $M$  partikül ağırlığını,  $\omega$  açısal hızı ve  $d_c$  ise partikülün rotorun dönme eksenine olan uzaklığını ifade etmektedirler. Partikülü yüzeyden koparan eşik santrifüj kuvvetinin adhezyon kuvvetine eşit ancak zıt yönde olduğu kabul edilirse aşağıdaki eşitlik elde edilebilir:

buradan da

$$F_{cen} = M\omega_d^2d_c \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir.  $\omega_d$  partikülün yüzeyden kopması için gerekli açısal hızı ifade etmektedir.

Kullanılmış toz örneklerinin yapısında bulunan partiküllerin ortalama ağırlıkları aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$M = \rho_p V_p \quad (3)$$

burada  $M$  bir partikülün ağırlığı,  $\rho_p$  ve  $V_p$  ise partikül yoğunluğu ve hacmini temsil etmektedir. Cam kürecikler düzgün şekilde ve tekdüze partiküller içereceği için partiküllerin küre şeklinde olduğu varsayılarak hacimleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_p = \frac{4\pi r^3}{3} \quad (4)$$

Burada  $r$  ortalama yarıçapı ifade etmektedir. Partikül ortalama yarıçapı mikroskop, (Bel Bio) kamerası ve paket programı kullanılarak tespit edilmiştir.

Tuz ise daha düzensiz ancak tekdüze partiküller içereceğinden partikül hacmi aşağıda verilen formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$V_p = \frac{4Ar_e}{3} \quad (5)$$

Burada  $A$  partikülün öngörülen izdüşüm alanını,  $r_e$  ise eşdeğer yarıçapını ifade etmektedir.

Düzensiz (pürüzlü) şekildeki partiküllerin ortalama çapları (Salazar-Banda ve ark., 2007)'de belirtildiği şekilde aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilir.

$$d_\beta = \frac{d_E + d_I}{2} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{\bar{d}_\alpha}{d_\beta} \quad (7)$$

$$\bar{d}_\alpha = \frac{(d_{\alpha 1} + d_{\alpha 2} + \dots + d_{\alpha n})}{n} \quad (8)$$

Burada  $d_\beta$  ortalama çapı,  $d_E$  dış çapı ve  $d_I$  iç çapı,  $\alpha$  pürüzlülüğü ve  $\bar{d}_\alpha$  aritmetik çapı ifade etmektedir.

## 2.4 Exopolisakkaritler

Ekzopolisakkaritler, monosakkaritlerden oluşan yapılardır. Bitkiler, algler, mantarlar ve bakteriler tarafından üretilmektedirler (Dilna ve ark., 2015). Gıda endüstrisi açısından ekzopolisakkaritler vizkoziteyi artırıcı, stabilize ve emulsifiye edici özelliklerinden ötürü son derece önem arz etmektedirler (Kanmani ve ark., 2011). Hücre dışına salgılanan ekzopolisakkaritlerin gıda sanayisinde temel kullanım amacı bu tür özelliklerin sağlanmasıdır. Bu amaca yönelik olarak kullanılan EPS'lere dekstranlar, ksantan, jellan, pullulan, maya glukanları ve bakteriyel aljinatlar örnek olarak gösterilebilir (Wang ve ark., 2008). Son yıllarda farklı mikroorganizma kültürlerinden EPS lerin eldesi, tanımlanması ve farklı kullanım alanları (yapıştırıcı, jelleşme ajanı, flukülant, kıvam arttırıcı vb) konularına olan ilgi artmaktadır. Özellikle LAB'nin ürettiği EPS'in sağlık üzerine de olumlu etkilerini belirten çok sayıda araştırma mevcuttur. Kitazawa, Yamaguchi, Miura, Saito, ve Itoh (1993), EPS'in insan sağlığı üzerinde birtakım faydalı fizyolojik etkileri olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu etkiler arasında antitümör, antiviral, bağışıklık sistemini uyarıcı, kolesterol seviyesini düşürücü, iltihap sökücü

ve prebiyotik özellikler gibi aktiviteler bulunmaktadır (Arena ve ark., 2006; De Stefano ve ark., 2007). EPS'in bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, LAB kaynaklı EPS'lerin gıdalarda doğal bir katkı maddesi olarak kullanılabileceği ve stabilizatör, kalınlaştırıcı, jelleştirici, yapıştırıcı ve su bağlayıcı özelliklerinden dolayı kimyasal, bitkisel ve hayvansal orijinli katkı maddelerine de alternatif olabileceği ortaya çıkmaktadır (Kim ve ark., 2006). EPSlerin gıdalarda kullanımına örnekler Tablo 1'de verilmiştir.

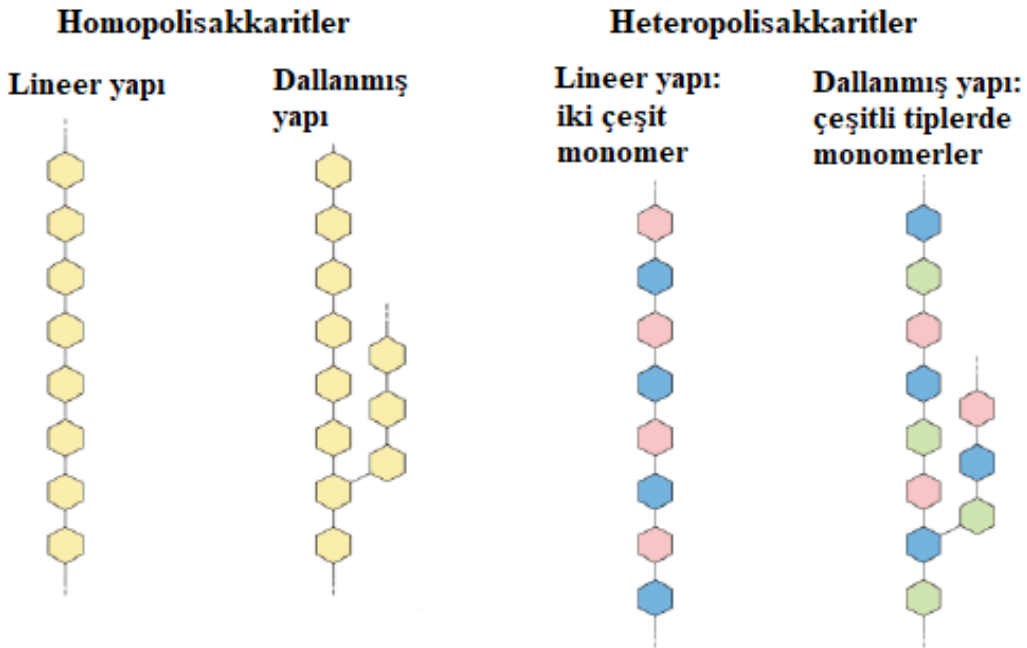
**Tablo 1.** Laktik asit bakterilerinden elde edilen fonksiyonel ekzopolisakkarit ve oligosakkaritlerin kullanım alanları (Patel ve ark., 2012).

EPS	Kullanım alanı
Dekstran	Katkı maddesi olarak, gıda ve farmasötik endüstrilerinde emülgatör, taşıyıcı ve stabilizatör, plazma ikamesi, kromatografi kolonunun matrisinde, antikoagülan, kağıt endüstrisi, metal kaplama işleminin iyileştirilmesi için geliştirilmiş yağ geri kazanımı, biyomateryaller
Alternan	Prebiyotikler, şekerlemelerde tatlandırıcı, düşük viskoziteli hacim arttırıcı madde ve gıdalarda sulandırıcı.
Reuteran	Fırıncılık ürünlerinde
Levan	Prebiyotikler, antitümör özelliği, hipokolesterolemik ajan, gıda endüstrisinde Ecofriendly yapıştırıcı, Biothickener
İnülin	Prebiyotikler, bağırsak mukozal hücrelerini besler ve patojenleri önler, kolon kanserine karşı hedeflenmiş ilaç verilmesi, gıda ürünlerine yağ ikamesi.
Kefiran	Asit süt jellerinin viskoelastik özelliklerini, antimikrobiyal ve yara iyileşme özelliklerini geliştirir, serumdaki kan basıncını ve kolesterolü düşürme kabiliyeti, tümör büyümesini geciktirme kapasitesi, bağırsakların bağırsıklık sistemini güçlendirir
Oligosakkaritler	Prebiyotikler, nutrasötik, antibiyotiklerin alternatifi, gıda katkı maddeleri, humektanlar, kolon kanserinin önlenmesi, kronik kabızlık tedavisi, kandaki lipit seviyesinin azaltılması, deri kozmetiklerinde.
Glukan	Peynirde yardımcı kültür
$\beta$ ve $\alpha$ glukanlar	Starter kültür üretimi
Hetero-EPSler	Emülsifiye ve floküle edici aktiviteler, antioksidan, anti-biyofilm

#### 2.4.1 Exopolisakkaritlerin yapısı

EPS'ler uzun zincirli molekül yapısına sahiptirler ve bu moleküller, şeker ve şeker türevlerinden oluşan ve birbirine çeşitli şekillerde bağlanmış polisakkarit yapılarıdır (Sanalibaba ve Cakmak, 2016). EPS'ler, D-glikoz, D-galaktoz, L-ramnoz veya nadir olarak N-asetilglikozamin, Nasetilgalaktozamin ve glukoronik asit içeren birimlerin tekrarlanması sonucu açığa çıkan yapılarıdır (Duboc ve Mollet, 2001). Yapısında bulunan moleküllerin türleri ve biyosentez mekanizmasına bağlı olarak EPSler iki gruba ayrılabilir. Bunlar, homopolisakkaritler (HoPS) ve heteropolisakkaritler (HePS) olarak adlandırılmaktadırlar. HoPS'lar tek tip monosakkaritlerden oluşmuşlardır (Şekil 2). Bunlara örnek olarak  $\alpha$ -D-glukanlar,  $\beta$ -D-glukanlar, fruktanlar, alternan,

reuteran, pullulan, levan, inulin, curdian, mutan ve polygalactan verilebilir. Bunlardan çoğu hücre dışı glukansukraz tarafından sentezlenmiş olma özellikleri gösterirler. HoPS'ların üretimi için sukroz gibi seçici bazı besinlere ihtiyaç vardır. Monosakkaritlerin bir araya getirilmesi işlemi bakteri hücrelerinin dışında gerçekleşir (Patricia Ruas-Madiedo, Hugenholtz, ve Zoon, 2002). HePS'ler düz zincir veya dallanmış zincir yapıda tekrarlanan birimlerden oluşmuştur. Bu birimler D-glukoz, D-galaktoz ve L-ramnoz gibi çeşitli tipte monosakkaritlerin kombinasyonlarını içerirler. Bazı durumlarda, N-asetilglukozamin, N-asetilgalaktozamin veya glukuronik asit HePS'in yapısında yer alabilir. Bazan fosfat, asetil ve gliserol gibi karbonhidrat olmayan yapılar da HePS'in yapısında bulunabilir. Gellan, ksantan ve kefiran HePS'lere örnek olarak verilebilir (Patricia Ruas-Madiedo ve ark., 2002). Yapısal olarak HePS'ler yapışkan ve sünen yapıda olabilirler (Patel, Majumder, ve Goyal, 2012).



**Şekil 2.** Laktik asit bakterilerinden elde edilen ekzopolisakkaritlerin yapıları (Mende, Rohm, ve Jaros, 2016)

Mikrobiyal EPS'ler doğada iyonik veya iyonik olmayan formda bulunabilir ve suda çözünebilir (Liang ve Wang, 2015). Molekül büyüklükleri genel olarak 10 kDa ile 200 kDa arasında değişmekte bazen de 1000 kDa'ya çıkabilmektedir (Vaningelgem ve ark., 2004). EPS'ler mikroorganizmayı kurumaya, fagositoza, faj saldırılarına, antibiyotiklere, toksik bileşiklere ve ozmotik strese karşı korurlar (Patricia Ruas-Madiedo ve ark., 2002). Ayrıca biyofilm oluşumu ve hücrenin katı yüzeylere tutunmasında etkilidirler (De Vuyst, 1999).

## 2.5 Laktik asit bakterileri

Laktik asit bakterileri, prokaryot, heterotrof ve kemo-organotrof olan canlı grubu içinde yer alır ve morfolojik (kok, basil, spiral, sarmal veya ince uzun) özellikleri, glikoz fermantasyon (homo-veya heterofermantatif) şekli, gelişim gösterdikleri sıcaklıklar ve şekerden faydalanma özelliklerine göre sınıflandırılmışlardır. *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, ve *Streptococcus* olmak üzere dört gruba ayrılmışlardır (Axelsson, 2004).

Tipik laktik asit bakterileri; Gram pozitif, sporsuz formda, katalaz negatif, sitokromdan yoksun, mutlak anaerobik veya fakültatif anaerobik, aside toleranslı, başlıca son ürünü laktik asit olan fermantatif bakterileridir. Çeşitli gıdalardan, ağız ve bağırsak florasından izole edilmektedirler. LAB, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Vagococcus*, *Aerococcus*, *Pediococcus*, *Tetragenococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissella*, *Lactobacillus* ve *Carnobacterium* bakterilerinden oluşmaktadır (Axelsson, 2004).

## 2.6 Laktik asit bakterilerinden Ekzopolisakkarit (EPS) üretimi

Bazı bakteriler buldukları gelişme ortamına hücre dışı bazı polimer maddeler salgırlar. Bu polimer maddeler bakteri hücrelerini çepeçevre kaplayabileceği gibi içinde bulunduğu ortama da serbest şekilde salgılanabilir (Sutherland, 1982). Bu polimer maddelerin büyük bir kısmı (%40-95) ekzopolisakkaritlerden (EPS) oluşur. Geriye kalan kısımlar proteinler, nükleik asitler ve çok az miktarda yağlardan oluşur (Jost Wingender, Thomas R. Neu, 2013). EPS'ler bakteri hücrelerinin yüzeylere yapışmasında önemli bir role sahiptir ve hücrenin olumsuz dış etkenlerden korunmasında görev alırlar (Sutherland, 1982). Ekzopolisakkarit (EPS) terimi ilk olarak Sutherland (1972) tarafından ileri sürülmüş ve hücre duvarı dışında lokalize olan bu bakteriyel polisakkaritlere verilmiş bir isim olarak kullanılmıştır. Leukonostoklar, streptokoklar, pediyokoklar ve laktokoklar laktik asit bakterileri ile propionobakterler, EPS üreten bakterilerin başında gelmektedir (P. Ruas-Madiedo ve de los Reyes-Gavilán, 2005). Ekzopolisakkaritler (EPS) hücreye sıkı bir şekilde bağlanmış kapsül formunda olan kapsüller EPS veya hücreye gevşekçe bağlı veya tamamen hücre dışına salgılanan ekzopolisakkaritler olarak iki formda olabilir. Kimyasal yapıları açısından mikrobiyal EPS'ler homopolisakkaritler ve heteropolisakkaritler olarak ikiye ayrılırlar. Homopolisakkaritler glukoz veya fruktoz olmak üzere sadece tek tip şeker monomerinden oluşurlar. Heteropolisakkaritler ise birden fazla farklı şeker ünitelerinden, dallanmış şekerlerden, diğer organik ve inorganik moleküllerden oluşabilirler. Bu monomerler arasındaki glikozidik bağların niteliği birçok özgün EPS yapısının oluşmasına neden olmaktadır (Broadbent ve ark., 2003, De Vuyst and Degeest, 1999, Kumar ve ark., 2007). Bu yapıların özgünlüğü ve aynı zamanda gıda, kimya, tıp ve farmasötik gibi alanlardaki doğal bileşenlere olan ihtiyaç ekzopolisakkaritlere olan ilginin artmasına neden olmuştur (Kanmani ve ark., 2011).

Bazı laktik asit bakterileri (LAB), hücre yüzeyinde üretilen veya büyüme ortamına salgılanan biyo-polimer yapıdaki ekzopolisakkaritleri (EPS'ler) üretebilir (Dertli ve ark., 2013). Bazı HoPS'leri üretebilen LAB türleri Tablo 2'de verilmiştir. LAB grubu genellikle güvenli [Generally regarded as safe (GRAS)] statüsünde değerlendirilmektedirler ve farklı yapılarda EPS üretim yetenekleri vardır ve bu EPS'lerin sağlık üzerinde olumsuz etkilerinin olmadığı belirtilmektedir (Surayot ve ark., 2014). LAB türlerinden elde edilen EPS'lerin fermente ürünlerde istenilen yapının oluşmasında görev aldıkları belirtilmektedir (Adesulu-Dahunsi, Sanni, ve Jeyaram, 2018). Ayrıca antitümör, kolesterol düşürücü, immünostimülatör, antioksidan ve antiülser etkileri gibi çeşitli biyoaktif fonksiyonlar bildirilmiştir (Abid ve ark., 2017; Ai ve ark., 2016; Di ve ark., 2017). Yapılan bazı çalışmalarda, biyofilm oluşumunda (Vu, Chen, Crawford, ve Ivanova, 2009), bağırsak epitelyal hücrelere bakteriyel hücre adhezyonunda (Dertli, Mayer, ve Nabad, 2015) ve tahta parçaların birbirine yapışmasında (Mancuso Nichols ve ark., 2009) EPS'lerin rol oynadığı bildirilmiştir.

**Tablo 2.** Bazı HoPS'leri üreten LAB türleri (Patricia Ruas-Madiedo ve ark., 2002; Torino, Font de Valdez, ve Mozzi, 2015).

EPS		LAB türü
α-D-glukanlar	Dekstran	<i>Leuconostocmesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> <i>Leuconostocmesenteroides</i> subsp. <i>dextranicum</i>
	Mutan	<i>Streptococcus mutans</i> <i>Streptococcus sobrinus</i>
	Alternan	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
	Reuteran	<i>Lactobacillus reuteri</i>
β-glukanlar		<i>Pediococcus</i> spp. <i>Streptococcus</i> spp.
	Fruktanlar	<i>Streptococcus salivarius</i>
	Levanlar Inulin-tipi	<i>Streptococcus mutans</i> <i>Leuconostoc citreum</i> <i>Lactobacillus reuteri</i>
Poligalaktanlar		<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> H414 <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>

LAB tarafından EPS üretimi son yirmi yıldır araştırmacıların dikkatini çekmiş, *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* ve otuzdan fazla *Lactobacillus* türünün EPS ürettiği ve bu polimerlerin gıda sanayisinde kalınlaştırıcı, sağlamaştırıcı, emülsifiyer, yağ ikame edici ve diğer önemli konularda kullanılması söz konusu olmuştur (Badel ve ark., 2011, Broadbent ve ark., 2003). (Badel ve ark., 2011, Broadbent ve ark., 2003). LAB grubunda hem homopolimerik hem de heteropolimerik EPS üretme kabiliyetindedir. LAB'leri tarafından üretilen homopolisakkaritler glikoz ünitelerinden oluşmuş gluklan veya dekstranlar olarak adlandırılan

polimerleri veya fruktoz ünitelerinden oluşmuş fruktan veya levan olarak tanımlanmış polimerleri üretmektedirler (De Vuyst and Degeest, 1999). LAB tarafından üretilen heteropolisakkaritler temel olarak glikoz, galaktoz ve ramnoz olmak üzere farklı şeker monomerlerinden veya organik veya inorganik diğer gruplardan oluşabilirler. Her iki kimyasal grup açısından monomerlerin bağlı oldukları glikozidik bağların yapısı çok çeşitli polimerlerin açığa çıkmasına neden olmaktadır (Badel ve ark., 2011). Farklı grupların tekrarlayan EPS ünitesinde bulunması EPS kimyasal konfigürasyonunu belirlediği kadar EPS'lerin fizikokimyasal özelliklerini de belirlemektedir. Yapılan çalışmalar EPS'lerin genel olarak bulunan kimyasal gruplara göre değişmekle birlikte nötral veya negatif yüklü (fosfat gruplarının varlığı) olduğunu göstermektedir. EPS kimyasal yapısı ve yükü fiziko-kimyasal açıdan son derece önemlidir (Badel ve ark., 2011).

LAB türleri tarafından üretilen ekzopolisakkaritlerin çoğunluğu HePS'tirler. Bunlar, üçten sekize kadar tekrarlanan birimler içerirler ve iki ya da daha fazla monosakkaritler içerirler (Ryan, Ross, Fitzgerald, Caplice, ve Stanton, 2015). HePS'ler çoğunlukla mezofilik ve termofilik LAB türleri tarafından üretilirler. Mezofilik LAB türlerine *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactobacillus sakei* ve *Lactobacillus casei* örnek olarak verilebilir. Termofilik LAB türlerine ise *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus* ve *Streptococcus thermophilus* örnek olarak verilebilir (Bajpai ve ark., 2016).

LAB türlerinin ürettikleri EPS yapısındaki kimyasal gruplara ilave olarak EPS üretim seviyesi de son derece yüksek oranda farklılık arz etmektedir ve EPS üretim miktarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi de son derece önemlidir. Ortam içeriği, fizikokimyasal ve kinetik parametreler gibi koşullara bağlı olarak değişebilen EPS üretim miktarı oldukça değişken olabilmektedir (Boels ve ark., 2003; Dupont ve ark., 2000). Laboratuvar ortamında kültürlerden EPS üretiminin miktarsal olarak en fazla olduğu fazın özellikle besin maddelerinin azaldığı ve üremenin yavaşladığı durağan faz olduğu bildirilmiştir (Manca ve ark., 1996). Örneğin dört *L. rhamnosus* suşunun EPS üretim miktarları incelenmiş ve bu suşların EPS genetik mekanizması aynı olsa da EPS üretim miktarlarınının 61-1611 mg/L arasında değiştiği bulunmuştur (Peant ve ark., 2005). Hücre içi ve hücre dışı faktörler EPS üretim miktarını etkilemektedir. Bu faktörler; ortam ve gelişme şartları (sıcaklık, inkübasyon sıcaklığı ve süresi, karbon:nitrojen oranı, pH, vitamin ve mineraller) (Broadbent ve ark., 2003; De Vuyst and Degeest, 1999), şeker nükleotitlerin bazal hücre metabolizmasındaki yeterlilikleri (Levander ve ark., 2002), bakteri tarafından kullanılan karbon kaynağı ve EPS üretiminden sorumlu gen kümesinin transkripsiyon miktarı gibi faktörleri içerir. Çevresel faktörlerin EPS üretimindeki rolü nedeniyle maksimum EPS seviyesinin üretimini sağlamış koşulların belirlenmesi son derece önemlidir. *Weissella* sp. ve *Lactobacillus sanfranciscensis* türleri tarafından hamurda üretilen



HoPS miktarları sırasıyla 16 and 5 g EPSs/kg hamur şeklinde rapor edilmiştir (Galle ve Arendt, 2014). Diğer bazı araştırmacılar ise *Lactobacillus rhamnosus* RW-9595 ve *Lactobacillus kefiranofaciens* WT-2B suşlarından üretilen HePS miktarlarını sırasıyla 2,2 ve 2,5 g/litre olarak bildirmişlerdir (Bajpai ve ark., 2016).

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 EPS üretimi ve izolasyonu

EPS üretiminin gerçekleştirilmesi amacıyla daha önceden yüksek düzeyde EPS ürettiği tespit edilen altı adet LAB türü seçilmiştir. Bu türler Bayburt Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü ve Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü araştırmacıları tarafından ekşi hamurdan ve yoğurttan izole edilmiş olan LAB türleridir (Tablo 3). Bakteriler gliserollü stoklarından alınıp her seferinde 37°C de MRS'de geliştirilerek aktive edilmiştir. Response surface metodunun Box-Behnken dizaynı kullanılarak EPS üretiminde fermentasyon koşullarının (pH, sıcaklık ve süre) optimizasyonu onbeş farklı deneme noktasında seçilen laktik asit bakterisi suşundan EPS üretimi gerçekleştirilmiştir. İzolatlar Box Behnken deney desenine göre 100 ml'lik hacimlerde MRS (De Man, Rogosa, Sharpe) Broth besiyeri kullanılarak inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon süresi sonunda üretilen EPS miktarları mg/L şeklinde belirlenmiştir.

**Tablo 3.** EPS üretimi için seçilen LAB türleri ve izole edildikleri kaynaklar

LAB türü	İzole edildiği kaynak
<i>Lactobacillus plantarum</i> Y36	Hamur
<i>Lactobacillus plantarum</i> SC1	Hamur
<i>Lactobacillus brevis</i> E25	Hamur
<i>Lactobacillus bulgaricus</i> Y39	Yoğurt
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG	Yoğurt
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> Y35	Yoğurt

Farklı inkübasyon koşullarını takiben EPS izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak hücreler 6000 × g (4°C'de 30 dakika)'da elde edilmiş, bakteriyel çökelti ve supernatant ayrılmıştır. Bu işlemin ardından supernatanta 2 katı kadar soğuk etanol ilave edilerek 4°C'de bir gece çökeltme işlemi uygulanmış ve çökelen EPS 10000 × g 'de 30 dakika 4°C'de santrifüj edilmiş ve sonrasında H<sub>2</sub>O'da çözülmüştür. En çok EPS üretilen koşullardaki EPS çözeltilerinde protein analizi, reolojik analizler, HPLC ile şeker profili analizi, FTIR, DSC, CLSM analizleri yapılmıştır. Üretilen EPS miktarının tespiti amacıyla fenol-sülfirik asit testi (Nielsen, 2009) kullanılmıştır. Elde edilen sıvı EPS örnekleri dordurarak kurutma yöntemine göre kurutularak toz haline getirilmiş ve kapaklı kaplarda -18 °C'de saklanmıştır.

##### 3.1.1 Fenol-sülfirik asit testi

Bu amaçla glikoz kullanılarak standart seyreltiler ile (0'dan 1 mg/ml'ye kadar) kalibrasyon eğrisi hazırlanmış ve daha sonra 200 µl örnek ilgili küvetlere alınarak üzerine 600 µl %98'lik sülfirik asit ilave edilmiş ve hemen ardından 120 µl %5'lik fenol ilave edilmiştir. 5 dakika renk gelişimi

İçin beklendikten sonra 490 nm’de absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerlerinden glikoz kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisi yardımı ile örneklerin EPS miktarı hesaplanarak belirlenmiştir.

### 3.1.2 Partikül boyut analizi

Toz örneklerin partikül boyut dağılımı analizi için Shimadzu SALD-2300 marka lazer difraksiyon partikül sayıcı (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya), siklon injeksiyon tipi kuru toz besleyicisi (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) ile birlikte kullanılmıştır. Toz örneklerinin farklı büyüklüklere sahip olacak şekilde (32 ile 500 µm arası) fraksiyonlara ayrılması işi elekler yardımı ile yapılmıştır (Enggalhardjo ve Narsimhan, 2005).

### 3.2 EPSlerin reolojik, kimyasal ve moleküler özelliklerinin belirlenmesi

Her bir bakteri kültürüne ait en çok EPS’nin elde edildiği denemelerden alınan EPS örneklerinin reolojik, kimyasal ve moleküler analizleri bu aşamada gerçekleştirilmiştir. Elde edilen EPS’lerin reolojik özellikleri dinamik titreşimli bir reometre kullanılarak analiz edilmiştir. Kimyasal özellikleri kapsamında pH, şeker grupları protein içerikleri belirlenmiştir. Kimyasal ve moleküler yapıları ise FTIR ve Jel Geçirgenlik Kromatografisi (Gel Permeation Chromatography-GPC) ile belirlenmiştir.

#### 3.2.1 Reolojik özelliklerinin belirlenmesi

Optimum koşullar altında üretilen EPS’lerin reolojik özellikleri, steady shear (sabit kayma) ve dynamic shear (dinamik kayma) olmak üzere iki farklı deformasyon testi uygulanarak peltier sistemli kontrollü gerilim reometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Reolojik ölçümler, belirli bir koni plaka konfigürasyonunda (koni çapı 35 mm, açı: 4°, boşluk: 0.140 mm), test edilen ürüne göre 1-500 s<sup>-1</sup> kayma hızında, -20 ila 150 °C’ler arasında hassas olarak gerçekleştirilmiştir. 1.0 ml örnek, koni ve plaka arasına yerleştirilmiş ve 10 saniye aralıklarla toplam 100 veri alınmıştır. Herbir ölçüm aynı örnek üzerinde beş kere tekrarlanmış ve ölçümler iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Görünür vizkozite ( $\eta$ ) değerleri, kayma hızının ( $\dot{\gamma}$ ) bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Ürünlerin akış kürveleri artan kayma hızlarına karşı çizilmiştir.

#### ***Steady shear (yatışkın kesme) akış davranış özelliklerinin (parametrelerinin) belirlenmesi***

Elde edilen reolojik verilerin, Power-law, Herschel-Bulkley ve Casson modellerine uyumu test edilmiş ve en yüksek determinasyon katsayısının (R<sup>2</sup>) elde edildiği model kullanılarak kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi değerleri belirlenmiştir.

Power law model:  $\sigma = K(\dot{\gamma})^n$

(9)

Burada  $\sigma$  kayma gerilimi (Pa), K kıvam katsayısı (Pa sn),  $\dot{\gamma}$  kayma hızı (s-1) ve n akış davranış indeksidir.

$$\text{Herschel-Bulkley model: } \sigma = \sigma_0 + K(\dot{\gamma})^n \quad (10)$$

Burada  $\sigma$  kayma gerilimi (Pa),  $\sigma_0$  akma gerilimi (Pa), K kıvam katsayısı (Pa sn),  $\dot{\gamma}$  kayma hızı (s-1) ve n akış davranış indeksidir.

$$\text{Casson model: } \sigma^{0.5} = (\sigma_c)^{0.5} + k_c(\dot{\gamma})^{0.5} \quad (11)$$

Burada  $\sigma$  kayma gerilimi (Pa),  $\sigma_c$  Casson akma gerilimi,  $k_c$  Casson vizkozitesi (Pa<sup>0.5</sup> s<sup>0.5</sup>),  $\dot{\gamma}$  kayma hızı (s-1) ve n akış davranış indeksidir.

Ürünlerin apparent viscosity (görünür vizkozite) değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi Arrhenius model ile tanımlanmıştır (Saravacos, 1970; Rao ve ark., 1984):

$$\eta = \eta_0 e^{(E_a/R(T+273.2))} \quad (12)$$

Burada  $\eta$  görünür vizkozite (Pa s),  $\eta_0$  Arrhenius eşitliği sabiti (Pa s),  $E_a$  aktivasyon enerjisi (kJ mol<sup>-1</sup>), R evrensel gaz sabiti (kJ mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), T mutlak sıcaklıktır [K].

### ***Dynamic shear (Dinamik titreşimli kayma) akış davranış özelliklerinin (parametrelerinin) belirlenmesi***

Frequency sweep (süpürme frekansı) testleri, dynamic oscillatory shear rheometer (dinamik titreşimli kayma reometresi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mekanik spektrumlar, lineer vizkoleastikliğin görüldüğü bölgede, ürüne göre 0.01-500 rad/s açısal frekans ( $\omega$ ) ve -20-150 °C aralığında belirlenmiştir. Osilasyon (titreşim) testlerinde, örnekler sinusoidal bir osilasyon gerilimine veya deformasyonuna tabi tutulmuşlar ve bu şekilde elastikiyet modülü ( $G'$ ) ve vizkozite modülü ( $G''$ ) değerleri belirli frekans değerlerine karşı belirlenmiştir. Loss tangent (Kayıp tanjant açısı,  $\tan \delta$ ) değerleri de aşağıdaki denkleme göre belirlenmiştir.

$$\tan \delta = G''/G' \quad (13)$$

Sinusoidal gerilimine karşı örneklerin verdiği toplam reaksiyon kompleks modülü ( $G^*$ ) ve kompleks vizkosite ( $\eta^*$ ) denklemleriyle karakterize edilmiştir.

$$G^* = [(G')^2 + (G'')^2]^{1/2} \quad (14)$$

$$\eta^* G^* / \omega \quad (15)$$

### **3.2.2 Şeker gruplarının HPLC ile analizi**

10 mg EPS numunesi tartıldı ve 0.8 mL damıtılmış suya ilave edilerek bir vorteks karıştırıcı kullanılarak karışması sağlandı ve daha sonra 218  $\mu$ L perklorik asit eklenerek vortekslendi. Karışım, 1 saat boyunca 80 ° C'de tutuldu ve numuneye 500  $\mu$ L 5M KOH ilave edildi ve karışım

çalkalandı. Karışım daha sonra makromoleküllerin çökeltilmesi için 12000 g'de 4 °C'de 5 dakika santrifüjlendi. Sıvı kısım ayrılarak HPLC analizine hazır hale getirmek için 0.45 µm'lik bir membran filtreden geçirildi (Minisart RC15, Sartorius). EPS örneklerinin monosakkarit bileşimi, iyon değiştirici kolon (Aminx HPX-87C, 300x7,8 mm) (Bio-Rad, Hercules, CA) ve refraktif indeks (RI) dedektörü (10A, Shimadzu, Manchester, İngiltere) monte edilmiş Shimadzu HPLC cihazı (Shimadzu, Manchester, UK) kullanılarak analiz edildi. HPLC test koşulları: enjeksiyon hacmi: 20 µl, kolon sıcaklığı: 85 ° C, hareketli faz: ultra saf su, akış hızı: 0.4 mL / dak, süre: 30 dak.

### **3.2.3 Moleküler ve Mikroyapısal Özelliklerin Belirlenmesi**

#### ***FTIR analizleri***

Ekstrakte edilen EPS'lerin gerek konformasyonel yapıları, gerekse optimizasyon koşulları altında konformasyonel yapılarında meydana gelen değişimler, Fourier transfer infrared (FTIR) spektrofotometre ile karakterize ve tespit edilmiştir. EPS örnekleri, katı KBr ile karıştırılmıştır ve yaklaşık 40 mg karışım tablet haline getirilmiştir. KBr tableti (pellet) kurutulmuş ve FTIR spektrofotometresinde okuma gerçekleştirilmiştir. Örneklerin geçirgenliği (transmittance) dalga boyu 4000 ve 400 cm<sup>-1</sup> aralığında kaydedilmiştir (Bhatia, Kumar, ve Bhatia, 2015).

#### ***Jel Geçirgenlik Kromatografisi analizi:***

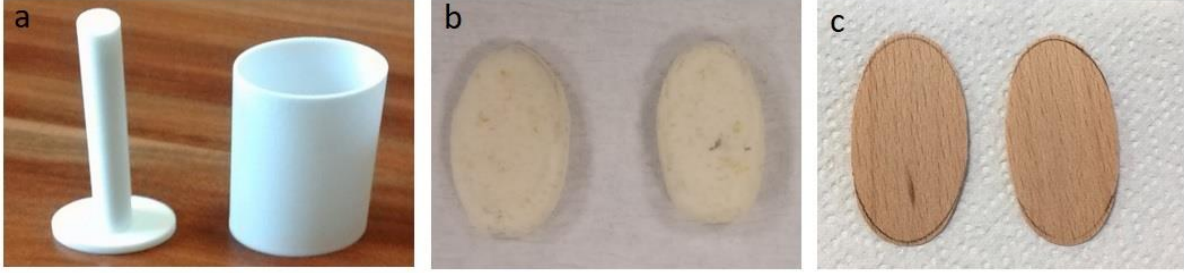
EPS exopolimer yapıları Jel Geçirgenlik/Elemen Kromatografisi (GPC) tekniği ile analiz edilmiştir (Mancuso Nichols ve ark., 2009). Bu amaç için LC20 sıvı kromatografisi sisteminde TSK-Gel 5000PW kolon kullanılmıştır. EPS örnekleri 50mM amonyum bikarbonat (%99 saflıkta) çözeltisi içerisinde çözülerek 0,5 ml/dakika olacak şekilde yürütülmüştür. EPSlerin iyi çözünebilmesi için gerekli olması durumunda 50 °C ye ısıtılmış veya ultrason uygulanmıştır. Kolona örnek+hareketli fazı vermeden önce çözünmeyen kısımlar santrifüj yardımıyla ayrılmış ve 0,45 µm filtreden geçirilmiştir. Aromatik amino asitler için 280 nm'de ve diğer kimyasal gruplar için 190 nm'de okumalar yapılmıştır. Kolonun kalibrasyonu farklı ortalama molekül ağırlığına (788, 404, 212, 112, 47,3, 22,8, 11,8, ve 5,9 kDa) sahip pullulan standartları kullanılarak yapılmıştır.

### **3.3 Cips örneklerinin hazırlanması**

Cips örnekleri (Enggalhardjo ve Narsimhan, 2005)'in belirttiği şekilde laboratuvar ortamında üretilmiştir. Bu amaç için %10-12 nem içeren orta incelikte mısır unu kullanılmıştır. Belirlenmiş miktarda una hamurun son nem miktarı %53 olacak şekilde destile su eklenmiş ve laboratuvar tipi karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra hamur ince tabaka (1,5 mm) şeklinde masa üzerinde yayılarak özel dizayn edilen kalıp yardımı ile elips şeklinde kesilmiştir (Şekil 3).

Fırında kızartma işlemi: Kesilen hamur parçaları 200 °C'ye getirilmiş fırında 15-20 dakika süre ile pişirilerek yüzeylerin hafif pembeleşmeye başladığı anda pişirme işlemine son verilerek örneklerin oda sıcaklığında soğuması sağlanmıştır.

Yağda kızartma işlemi: Şekil verildikten sonra 200-230 °C 'de 2 dakika süre ile ayçiçek yağında kızartılmıştır. Kızaran cips örneklerinin yüzeyindeki fazla yağların bir kağıt peçete içerisinde 5 dakika süre ile bekletilmesi yoluyla alınmıştır.



**Şekil 3.** a-Cips örneklerine şekil vermek için kullanılan kalıp, b- elde edilen cips örnekleri, c- ahşap pullar

### 3.4 EPSlerin seçilen toz örneklerin gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerinin belirlenmesi

#### 3.4.1 EPS çözeltisinin hazırlanması ve uygulanması

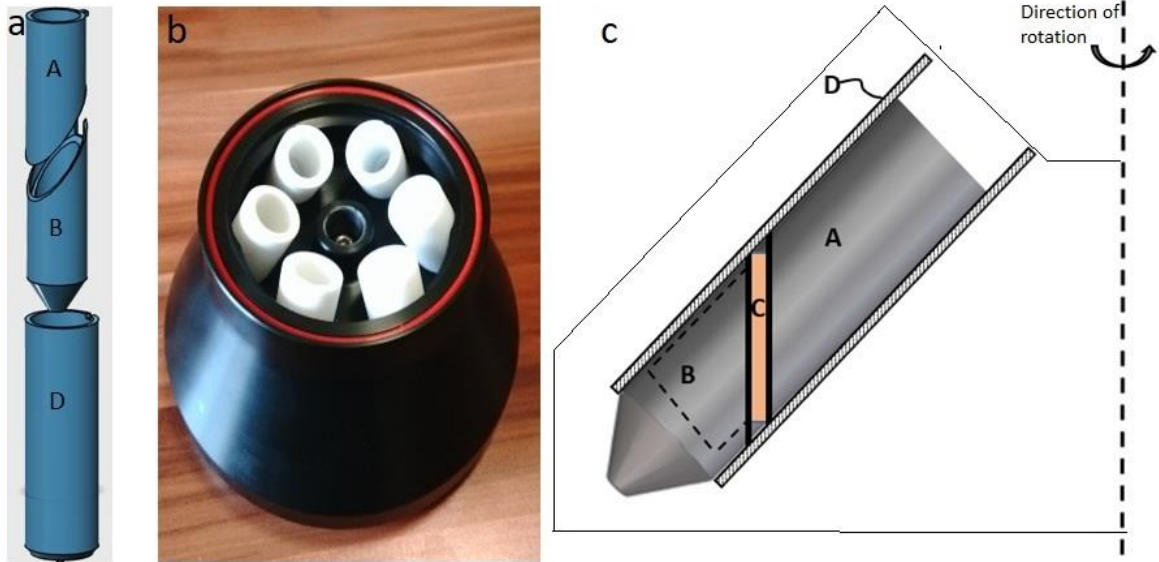
Liyofilize olarak toz haline getirilmiş EPS, destile su içerisinde farklı konsantrasyonlarda (%5-20) katılarak blendırda 18000 rpm'de 5 dakika karıştırılmıştır. Gerekirse ısıtılarak EPS'nin su içerisinde iyice çözünmesi sağlanmıştır. EPS çözeltileri püskürtme makinası kullanılarak püskürtme yöntemi ile yüzeylere uygulanmıştır. EPS çözeltisinin belli bir konsantrasyondan sonra jelleşmesi beklenebilir ve bu da speyleme işlemi zorlaştırabilir. Bu durumda yüzeylere uygulanması ince yapılı bir fırça yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yüzeylere uygulanmış toz örnekler değişen miktarlarda (%3-10 (ağ/ağ)), uygun mesh büyüklüğündeki elekler yardımıyla serpiştirilmiştir. Tozla kaplanan cips örnekleri adhezyon testi öncesinde yüzeye uygulanan çözeltinin içerisinde bulunan serbest suyun uzaklaşması için vakumlu kurutucuda 35 °C de kuruması sağlanmıştır. Daha sonra tozla kaplanan örnekler aşağıda detayları belirtilen adhezyon testine tabi tutularak elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir denemede en az 3 tekrarlı olacak şekilde çalışılmıştır.

Ayrıca ksantan gamı kullanılarak hazırlanmış çözelti ve Ayçiçek yağı referans olarak kullanılması düşünülmüş ve EPS çözeltisinin yapışmaya olan etkisi karşılaştırmalı olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ancak, %3 ve üzeri konsantrasyonlarda ksantan gamı çözeltilerinin yüksek vizkozite özelliği göstermesi nedeni ile yüzeylere uygulanmasında

zorluklar yaşanmış ve bu nedenle ksantan gamı çözeltisi yerine saf su kullanılarak veriler elde edilmiş ve EPS çözeltileri kullanılarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

### 3.4.2 Adhezyon (yüzeğe yapışma) testi:

Yapışma testi için yüksek hızlı masa üstü santrifüj cihazı kullanılmıştır. Kullanılmış olan santrifüj cihazının rotorunun hızlanmasının programlanabilir olması ve yavaş hızlanmasının sağlanması ilk hızlanma aşamasında ani hareketlenme sonucu oluşabilecek yüzeyden partikül kopmalarını önlemek için gereklidir. Santrifüj cihazında 6x50 ml rotor (INO-HT, Inovia) kullanılmıştır. Her bir tüp yuvasına uygun şekilde cips örneklerini tutmuş şekilde örnek tüpleri dizayn edilmiş (Solidworks® CAD programı kullanılarak) ve 3D CAM yazıcılar yardımı ile üretimi hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir. Tüplerin içerisine örnekler dönme eksenine paralel şekilde (Şekil 4c) yerleştirilmişlerdir. Bu şekilde aynı anda 6 farklı örnekte adhezyon testi simültane olarak gerçekleştirilebilmiştir.



**Şekil 4.** Cips örnekleri için kullanılan tüp dizaynı (a) ve tüplerin kullanılacağı santrifüj rotoru (b) ve tüpün rotor içerisindeki pozisyonu (c). A-tüpün üst kısmı, B-tüpün içerisinde boşluk olan alt kısmı, C-cips örneği, D-tüpün alt ve üst kısmını birarada tutan silindirik parça.

Adhezyon testlerinde farklı partikül boyutlarında (0-100, 100-200, 200-300 ve 300-400  $\mu\text{m}$ ) tuz ve cam tozu model toz olarak kullanılmıştır. Bu amaçla kaya tuzu değirmenden (Retsch, ZM200) geçirilerek farklı mesh büyüklüğüne sahip elekler kullanılarak eleme cihazında (Retsch, AS200) fraksiyonlara ayrılmıştır. Cam tozu İstanbul'da bir firmadan temin edilmiş ve elekten geçirilerek fraksiyonlara ayrılmıştır. Bu model tozların yanında nişasta, kakao tozu, ksantan gam ve kırmızı biber tozu da yapışma testine tabi tutulmuştur.

İlk aşamada karşılaştırma amaçlı ayçiçek yağı kullanılmış ve toz partiküllerin ahşap pullar üzerine yapışmasının karakterize edilmesi amaçlanmıştır.

Farklı büyüklüklerdeki toz partikülleri ile kaplanan ahşap pul/cips örneği bu amaç için dizayn edilmiş olan örnek tüplerine (Şekil 4a) yerleştirilerek santrifüj cihazının godelerine yerleştirilmiştir. Ahşap pul/cips örneklerinin tek tarafı toz partikülleri ile kaplanmıştır ve kaplanan tarafı rotorun dönme eksenine ters yönde yerleşmesi sağlanmıştır ki böylece merkezkaç kuvveti ile yüzeyden partiküllerin ayrılması mümkün olsun. Yüzeyden kopan partikül miktarını hesaplayabilmek için her aşamada ahşap pul/cips örneği tartılarak not edilmiştir. Toz partikülleri ile kaplanmış ahşap pul/cips örnekleri farklı dönme seviyelerinde (1000, 2000, 3000 ve 4000 rpm) 1 dakika süre santrifüjde tutulmuştur ve her bir dönme seviyesinde yüzeyden kopan partikül miktarları hesaplanmıştır.

Tozla kaplanmış örnekler adhezyon testinden önce 45 dakika süre ile desikatörde bekletilerek kuruması sağlanmıştır. Ahşap pul/cips örnekleri EPS çözültisi uygulanmadan önce ve sonra; toz kaplama işleminden sonra; desikatörde kuruduktan sonra ve adhezyon testinden sonra hassas terazide tartılarak % toz kayıpları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ayrılan toz kütlesi} = [(C_{2\delta} - C_1) - (C_{2s} - C_1)] * 100 / (C_{2\delta} - C_1) \quad (16)$$

Bu denklemde  $C_1$ , yüzeyine herhangi bir işlem uygulanmamış ahşap pul/cips kütlesini,  $C_{2\delta}$ , santrifüj işleminden önceki yüzeyine sıvı ve toz uygulanmış ahşap pul/cips kütlesini,  $C_{2s}$ , santrifüj işleminden sonraki yüzeyine sıvı ve toz uygulanmış ahşap pul/cips kütlesini ifade etmektedir.

Bu işlemler her bir toz örneği için aynı anda 6 örnekle ve en az 3 tekrarlı yapılmış ve ortalama değerler ile standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Elde edilmiş veriler Minitab 17 istatistik programı yardımı ile tek yönlü değişken analizi (ANOVA) ve çoklu karşılaştırmalar için Tukey's HSD kullanılarak analiz edilmiştir.

### 3.4.3 Gıda tozlarının hidrofilik/hidrofobik özelliklerinin belirlenmesi

Bu analiz için ayırma hunisinden yararlanılmıştır (Armstrong ve Barringer, 2013). Bu amaçla ayırma hunisinin içerisine 50 ml polar (etanol) ve 50 ml apolar (petrol eteri) iki çözügen konulmuş ve içerisine 10 g toz örnek eklenerek karıştırılarak 2 saat beklenmiştir. Bu süre sonunda iki farklı çözügende çözünen toz örneğin üç faza (polar, apolar ve arafaz) ayrışması beklenmiştir. Daha sonra bu 3 faz huniden ayrı ayrı alınarak dönerli buharlaştırıcı yardımı ile çözügen uzaklaştırılmış geriye kalan toz kısımlar tartılmış ve böylece toz örneğinin hidrofilik/hidrofobik özellikleri belirlenmiştir.

### 3.5 Yüzeylerin SEM analizi

Test edilmiş ürüne göre ön hazırlık işlemleri tamamlanan örneklerin yüzeylerinin mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Philips ESEM XL30 FEG) ile incelenmiş ve ilgili görüntüler fotoğraflanarak mikroyapıları hakkında bilgi toplanmıştır.

### 3.6 Duyusal analizler:

EPSler kullanılarak kaplanmış cips örnekleri ile ayçiçek yağı kullanılarak kaplanmış cips örneklerinin duyusal değerlendirilmeleri yapılmıştır. Duyusal testler, bu ürünlerde deneyimli 10 farklı gıda bilimcisi panelist tarafından 10 skalalı (1-10 arası) hedonik gösterge çizelgesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Lawless ve Heymann, 2010). Buna göre puanların dağılımı şu şekilde olmuştur: 10-fevkalade, 9-mükemmel, 8-çok iyi, 7-oldukça iyi, 6-iyi, 5-orta, 4-ortanın altı kötünün üstü, 3-kötü, 2-çok kötü ve 1-aşırı kötü. EPS uygulanarak kaplanmış cips örnekleri; renk, ağızda bıraktığı tat, ağızda erime, yabancı tat ve aroma ve genel beğeni kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

### 3.7 Matematiksel analizler

#### 3.7.1 Elde edilmiş deneysel verilerin matematiksel modellemelerden elde edilmiş veriler ile karşılaştırılması:

Teorik adhezyon kuvvetinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Salazar-Banda ve ark., 2007).

$$F_{ad} = F_c + F_{vdw} + F_{es} \quad (17)$$

Burada  $F_{ad}$  toplam adhezyon kuvvetini,  $F_{vdw}$  van der Waals adhezyon kuvvetini,  $F_c$  kapiler adhezyon kuvvetini ve  $F_{es}$  ise elektrostatik adhezyon kuvvetini ifade etmektedir. Partikül ve yüzey arasında sıvı arayüzün olmadığı durumlarda  $F_{vdw}$  ve  $F_{es}$  kuvvetleri adhezyondan sorumludur ve iki kuvvetin toplamı kuru adhezyon kuvveti ( $F_{dry}$ ) olarak ifade edilirler.

İdeal yüzeylere sahip materyaller arasındaki adhezyon kuvvetinin hesaplanmasında farklı metotlar geliştirilmiştir. Yüzey enerjisine dayalı olan metotta nemsiz atmosferde düz bir plaka ile partikül arasındaki çekim kuvveti DMT (Derjaguin, Muller, ve Toporov, 1975) modelinde küçük ve sert partiküller için

$$F_{dry} = 4\pi\gamma R \quad (18)$$

veya JKR (Johnson vd, 1971) modelinde büyük ve yarı sert partiküller için

$$F_{dry} = 3\pi\gamma R \quad (19)$$

formülleri kullanılarak hesaplanabilir. Burada  $\gamma$  yüzey enerjisini,  $R$  partikül çapını ifade etmektedir.

Literatürde bu modellerden hangisinin partikül-yüzey etkileşim mekaniğini daha iyi ifade edebileceği tartışılmıştır (Johnson ve Greenwood, 1997). Yapılan çalışmalarda bu modellerin

uygulanmasının önündeki en önemli bariyerin yüzey enerjisinin tahmin edilmesi veya farklı kaynaklardan yaklaşık değerlerin alınması olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle  $F_{dry}$ , (Rabinovich, Esayanur, Johanson, Adler, ve Moudgil, 2002) tarafından aşağıdaki şekilde uyarlanmıştır.

$$F_{dry}(H) = \frac{AR}{6(H_0 + 2r \cos \theta)^2} \quad (20)$$

Formülde  $H_0$  iki yüzey arasındaki adhezyonun gözlenmediği en kısa mesafe,  $r$  maksimum menüsküs yüksekliği,  $A$  hamaker sabiti,  $R$  yüzeye yapışan partikül çapı ve  $\theta$  temas açısını ifade etmektedir.

Partikül ile yüzey arasındaki kapiler adhezyon kuvvetinin ( $F_C$ ) iki temel bileşeni mevcuttur. Birincisi ( $F_P$ ) menisküsteki basınç farkından ( $\Delta P$ ) ortaya çıkan; ikincisi ( $F_S$ ) ise meniküse etki eden yüzey geriliminden ortaya çıkan kuvvetlerdir. Bu kuvvetler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$F_C = F_P + F_S = \pi x^2 \Delta P + 2\pi \gamma_L x \sin(\theta_1 + \alpha) \quad (21)$$

burada  $\Delta P$ , Laplace Eşitliği (Adamson, 1977) ile ifade edilirse;

$$\Delta P = \gamma_L \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x} \right) \quad (22)$$

olarak ifade edilebilir.  $\gamma_L$  ara yüzeydeki sıvının yüzey gerilimini,  $R$  partikül çapını,  $r$  menisküs çapını,  $x$  menisküs ile partikül arasındaki yatay keşişim uzunluğunu,  $\theta_1$  temas açısını, ve  $\alpha$  ise ordinat eksenini ile partikülün sıvı menisküs ile keşişimi sonucu oluşan çember arasındaki açıyı ifade etmektedir.  $\alpha$  açısı partikül yüzeyinin  $x$  noktasındaki eğiminin arctanjantıdır,

$$\alpha = \arctan\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad (23)$$

Menisküsün denge halindeki çapı ( $r$ ) Kelvin eşitliği ile ifade edilirse,

$$r = \frac{-V\gamma_L}{N_a k T \ln\left(\frac{P}{P_s}\right)} = \frac{-V\gamma_L}{k T \ln \psi} \quad (24)$$

eşitliği elde edilebilir. Formülde  $V$  arayüzdeki sıvının molar hacmini,  $\gamma_L$  sıvının yüzey gerilimini,  $N_a$  Avogadro sayısını,  $kT$  Boltzmann sabiti ile mutlak sıcaklığı,  $P$  ve  $P_s$  buhar basıncı ile doymun buhar basıncını,  $\psi$  ise bağıl nemi ifade etmektedir.

Partikül ile yüzey arasındaki toplam adhezyon kuvveti;

$$F_{ad} = F_C + F_{dry} = 4\pi \gamma_L R \cos \theta \left( 1 - \frac{H}{2r \cos \theta} \right) + \left( \frac{AR}{6(H_0 + 2r \cos \theta)^2} \right) \quad (25)$$

formülü yardımı ile hesaplanabilir. Ancak yüzey ve partikül arasında sıvı olması halinde kapiler kuvvet ( $F_C$ ) baskın hale geleceğinden kuru  $F_{dry}$  hesaplamada ihmal edilebilir. Temas açısı, herhangi bir yüzeyde dengede duran bir damlanın yatay yüzey ile arasında çizilen tanjantın



açısıdır ve mikroskoba bağlı kameradan elde edilen resimlerde yapılan imaj analizleri ile belirlenebilmektedir. Bu amaçla bir EPS çözeltisi damlası cips yüzeyine damlatılarak dijital bir kamera ile resmi çekilerek imaj analizi sonucu temas açısı hesaplanmıştır.

Partikülün öngörülen izdüşüm alanını ve eşdeğer yarıçapı ışık mikroskopunda (Bel Bio 3 + Eureka 5.0 MP + Bel View) elde edilmiş görüntülerin imaj analizlerinde belirlenmiştir.

### **3.8 İstatistiksel Analizler**

Araştırma sonrasında elde edilmiş veriler, deneme desenlerine uygun olarak varyans analizlerine tabi tutulmuşlardır. Duyusal analizlerden elde edilmiş veriler ve diğer veriler tek ve çift faktörlü varyans analizlerine (one-way ANOVA) tabi tutulmuşlardır. Ortalama değerler arasındaki önem farkları Tukey HSD çoklu karşılaştırma analizi ile belirlenmiştir. Proje kapsamındaki testlerinden elde edilmiş verilerin analizinde Minitab (Minitab 17®, Minitab Inc.) istatistik programı kullanılmıştır.

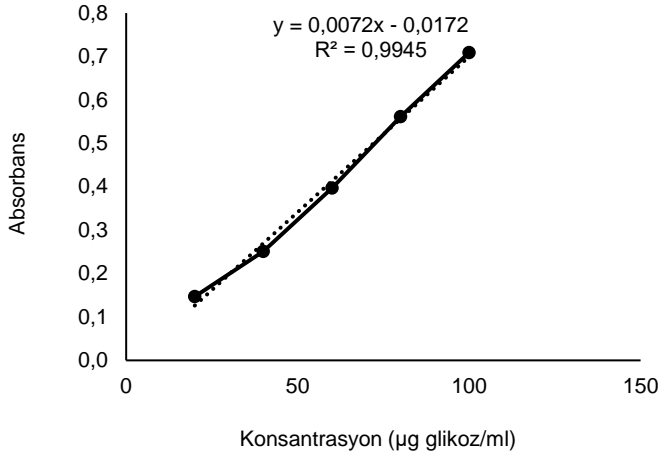
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Doğal ortamlarından (ekşi hamur ve yoğurt) izole edilmiş bakteri (LAB) suşlarının temini ve EPS üretimi çalışmaları

Bu çalışmada daha önceden Yıldız Teknik Üniversitesi ve Bayburt Üniversitesi araştırmacıları tarafından ekşi hamurdan ve yoğurttan izole edilmiş olan ve Tablo 3'te belirtilmiş olan 6 adet bakteri türü EPS üretimi için kullanılmıştır. Seçilen türler kullanılarak 15 farklı inkübasyon koşullarında EPS üretimi gerçekleştirilerek en çok EPS üreten türler ve inkübasyon şartları belirlenmiştir.

Bu amaçla %1 oranında sükröz eklenen 40 mL MRS Broth cam şişelerde hazırlandıktan sonra pH'sı ayarlanmıştır. Otoklavda sterilize edildikten sonra inkübasyon sıcaklığına soğutulmuş stok bakteri çözeltisinden 100 µL alınarak inokulasyon yapılmıştır. Vortekslenerek belirlenen inkübasyon sıcaklıklarında (30, 36, 42 °C) ve belirlenen sürelerde (18, 33, 48 saat) inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda EPS ve bakteri hücreleri içeren tüpler santrifüj edilerek (6000×g, 4°C'de 30 dakika) bakterilerin çökmesi sağlanmıştır. Süpernatanta (40 ml) %50'lik TCA çözeltisinden 3 ml eklenerek 3 saat boyunca 4 °C'de bekletilerek proteinlerin çökmesi sağlanmıştır. Bu süre içerisinde yarım saatte bir vorteksleme işlemi yapılmıştır. Proteinler santrifüj işlemi (10000×g, 30 dk, 4 °C) ile çöktürülerek uzaklaştırılmıştır. Süpernatantın pH'sı 6,8-7 arasına NaOH ve HCl kullanılarak ayarlandıktan sonra süpernatanta 2 katı kadar soğuk etanol ilave edilerek 4°C'de bir gece çöktürme işlemi uygulanmış ve çökelen EPS 10000×g'de 30 dakika 4°C'de santrifüj edilerek çöktürülmüş ve çökelti 10 mL H<sub>2</sub>O'da çözüldükten sonra hacmin iki katı kadar (20 ml) soğuk etanol ilave edilerek 2 gün boyunca 4 °C'de bekletilerek santrifüj işlemi (10000×g, 4 °C, 25 dk) ile çöken EPS kütlesi 10 mL saf suda çözüldürülerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Hemen analiz yapılmadığı durumlarda liofilizatörde kurutulmuşlardır.

Elde edilen EPS'lerin miktarsal analizi için Fenol-sülfirik asit toplam karbonhidrat analiz metodu kullanılmıştır. Öncelikle standart glikoz çözeltileri hazırlanarak kalibrasyon grafiği (Şekil 5) oluşturulmuş ve daha sonra EPS örneklerinin analizi yapılarak bu grafiğe göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaçla uygun seyreltmeler yapılan EPS çözeltileri cam tüplere alınarak üzerlerine fenol ve sülfirik asit çözeltileri belirtilen hacimlerde eklenerek 10 dakika bekletilmiş ve sonrasında oluşan renk, 490 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.



**Şekil 5.** Fenol-sülfirik asit toplam karbonhidrat analiz metodu için oluşturulan kalibrasyon grafiği

6 farklı bakteri türü kullanılarak 15 farklı inkübasyon şartlarında üretilen EPS miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

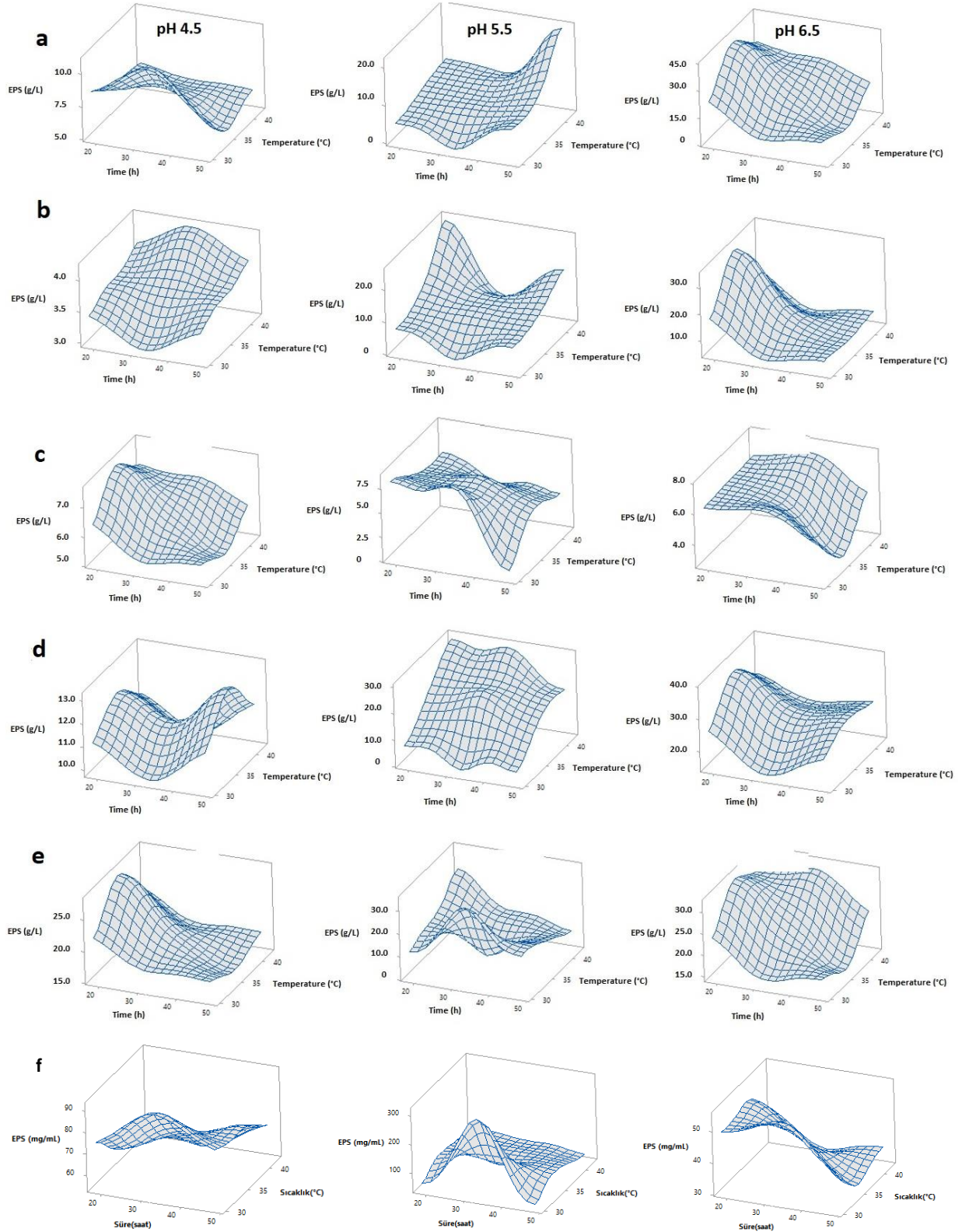
**Tablo 4.** Farklı inkübasyon şartlarında üretilen EPS miktarları

pH	Süre (saat)	Sıcaklık (°C)	Üretilen EPS miktarı (mg/ml)					
			<i>Lb. brevis</i> E25	<i>Lb. plantarum</i> SC1	<i>L. mesenteroides</i> Y35	<i>Lb. plantarum</i> Y36	<i>Lb. bulgaricus</i> Y39	<i>Lb. rhamnosus</i> GG
4,5	33	30	17.9	9.9	10.9	7.0	5.4	9.2
4,5	18	36	27.9	12.2	7.3	3.8	7.6	6.1
4,5	48	36	15.8	13.2	5.2	3.4	5.2	7.7
4,5	33	42	17.6	9.9	6.4	3.2	6.7	5.4
5,5	18	30	11.5	7.3	4.8	7.4	8.1	5.9
5,5	33	30	34.5	1.6	0.6	0.9	8.6	31.3
5,5	48	30	17.4	4.1	8.1	7.4	0.8	4.7
5,5	33	36	34.0	22.2	6.6	9.2	6.8	7.5
5,5	18	42	26.4	29.4	8.6	25.3	5.8	8.0
5,5	33	42	11.8	29.6	7.2	4.9	3.7	6.7
5,5	48	42	7.2	17.0	21.5	15.6	3.5	5.2
6,5	33	30	15.7	15.0	6.8	5.4	6.7	5.5
6,5	18	36	31.9	36.8	42.5	34.2	6.5	5.1
6,5	48	36	14.8	27.6	4.5	7.1	2.8	3.1
6,5	33	42	30.8	22.6	26.2	5.8	7.3	3.2

Tablo 4'te görüldüğü üzere farklı türlerin farklı inkübasyon şartlarında değişen miktarlarda EPS ürettikleri tespit edilmiştir. En çok EPS'nin üretildiği inkübasyon şartlarının daha iyi

anlaşılabilmesi amacıyla elde edilen veriler 3 boyutlu yüzey grafikleri ile analiz edilmiştir (Şekil 6).

Şekil 6'da da görüleceği üzere farklı türde mikroorganizmalar, değişen inkübasyon koşullarında değişen miktarlarda EPS üretmişlerdir. pH'daki artışın *Lactobacillus rhamnosus* GG hariç tüm mikroorganizma türlerinin EPS üretimini artırdığı görülmektedir. Çalışılan mikroorganizma türlerinin süre ve sıcaklık parametrelerine bağlı olarak EPS üretme yetenekleri değişkenlik göstermekte, ancak ortak bir davranış karakteristiklerinin oluşmadığı görülmektedir. Bu nedenle EPS örneklerinde yapılması planlanan analizler için farklı mikroorganizmalardan farklı parametrelerde elde edilmiş olan EPS örneklerinin kullanılması düşünülmüştür. Bu mikroorganizma türleri ve parametreler Tablo 5'te verilmiştir. Elde edilen EPS çözeltilerinin protein içeriği Bradford protein analiz metoduna göre yapılmıştır ve elde edilen EPS örneklerinde tespit edilebilir miktarlarda proteine rastlanmamıştır.



**Şekil 6.** Elde edilen EPS'lerin 3 boyutlu yüzey grafikleri ile gösterimi (a- *Leuconostoc mesenteroides* Y35, b- *Lactobacillus plantarum* Y36, c- *Lactobacillus bulgaricus* Y39, d- *Lactobacillus plantarum* SC1, e- *Lactobacillus brevis* E25, f- *Lb. rhamnosus* GG)

#### 4.2 Elde edilen EPS'lerin kimyasal, moleküler ve reolojik karakterizasyonu

Farklı türlerden farklı inkübasyon şartlarında yapılan EPS üretimi denemelerinde Tablo 5'te verilen en fazla EPS'nin üretildiği optimum inkübasyon parametre kombinasyonları seçilerek bu bölümde bahsi geçen analizler için EPS örnekleri üretilmiştir.

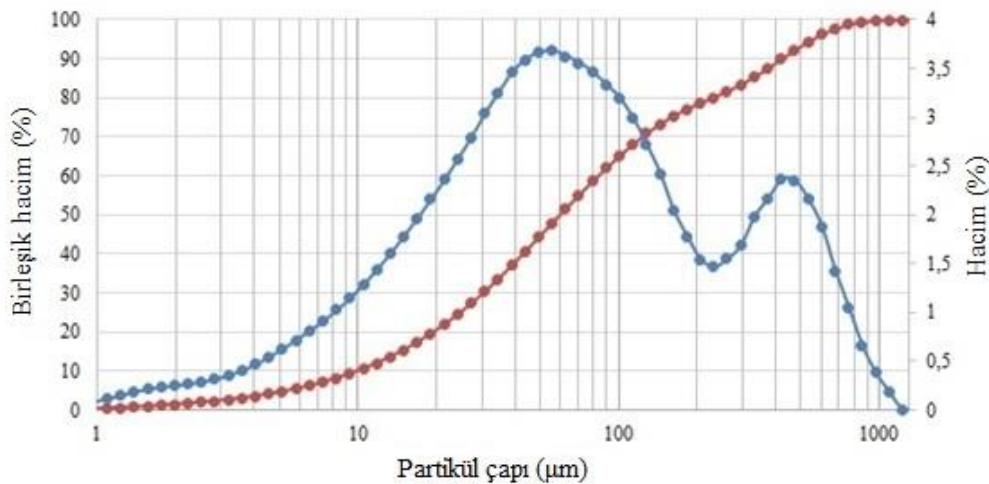
**Tablo 5.** Seçilen suşlar kullanılarak EPS üretilen parametreler

	pH	süre(saat)	sıcaklık(°C)	Kombinasyon Kodu
<i>Lactobacillus brevis</i> E25	5,5	33	30	A
<i>Lactobacillus brevis</i> E25	6,5	18	36	B
<i>Lactobacillus plantarum</i> SC1	6,5	18	36	C
<i>Lactobacillus plantarum</i> SC1	5,5	18	36	D
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> Y35	6,5	18	36	E
<i>Lactobacillus plantarum</i> Y36	6,5	18	36	F
<i>Lactobacillus plantarum</i> Y36	5,5	18	36	G

#### 4.3 Elde edilen EPSlerin partikül boyut analizi ve SEM analizi

Yapılan partikül boyutu analizi sonucunda, Tablo 5'te belirtilen A koşullarında üretilen EPS partiküllerinin çoğunluğunun (% 65) 100  $\mu\text{m}$ 'nin altına düştüğünü, geriye kalan partiküllerin büyüklüğünün ise 1 mm'ye kadar değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Şekil 7). Büyük partiküllerin varlığı, küçük partiküllerin bir araya gelerek aglomeratların oluşması şeklinde açıklanabilir.

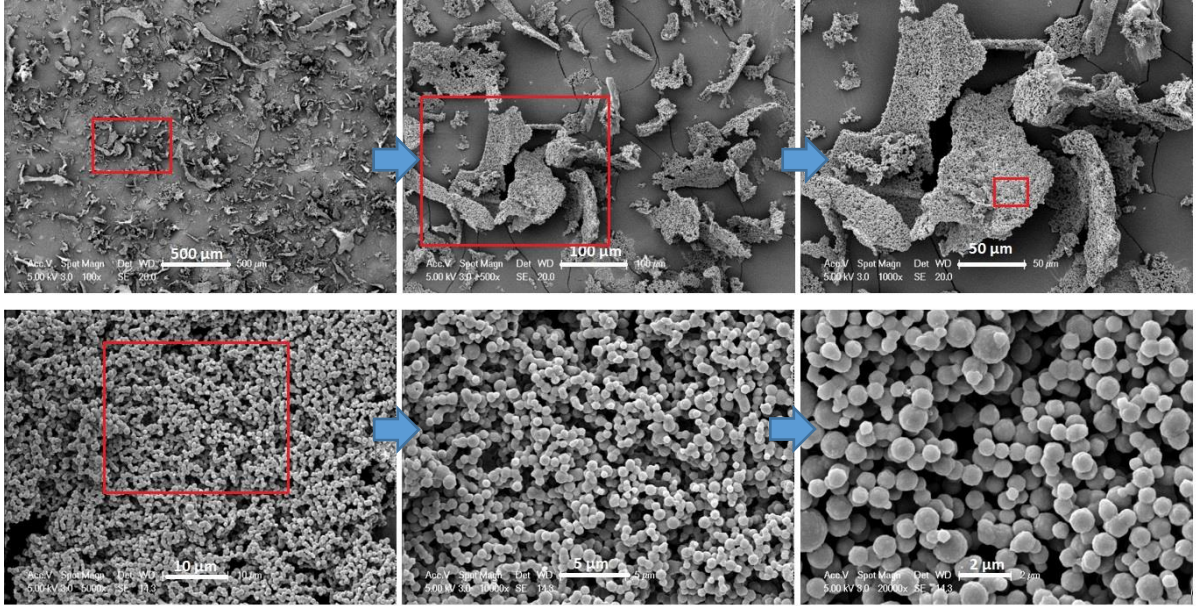
Kırmızı biber tozu, nişasta, kakao tozu ve ksantan sakızı için hacim ortalama çap (D [4,3]) değerleri sırasıyla 190, 120, 136, 91  $\mu\text{m}$  olarak kaydedilmiştir.



**Şekil 7.** A koşullarında üretilen toz EPS örneğine ait partikül boyut analizi

Şekil 8, EPS partiküllerinin SEM görüntülerini ve yüzey özelliklerini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi elde edilen EPS partiküllerinin düzensiz yüzey şekline sahip olduğu ve puls

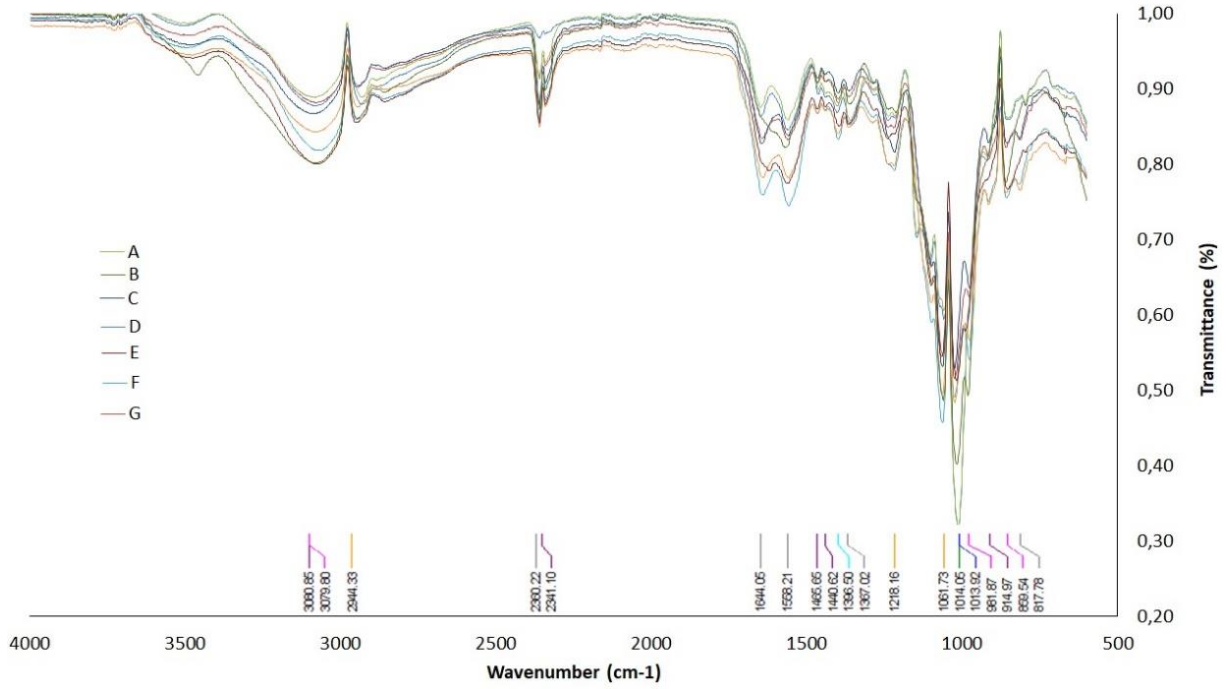
yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, partikül büyüklüğünün 100  $\mu\text{m}$  ve altında olduğu görülmektedir ve bu da Şekil 7'den elde edilen veriler ile benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Partikül yüzeyinde yapılan incelemede küçük boyutlardaki (1  $\mu\text{m}$  ve daha küçük) küre şeklindeki yapıların biraraya gelerek daha büyük partikülleri oluşturduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 8.** Toz EPS partiküllerine ait SEM görüntüleri

#### 4.3.1 FTIR analizleri

Elde edilen EPSlerin fonksiyonel gruplarını belirlemek amacıyla FT-IR kullanılmıştır. Bu amaçla KBr beam splitter ve DLATGS dedektör atacmanlı ATR modulu içeren Bruker Tensor 27 (Bruker, Bremen-Germany) cihazı kullanılmıştır. Cihazda oluşan sinyallerin veriye dönüştürülmesinde OPUS program V.7 (Bruker, Bremen-Germany) kullanılmıştır. EPS örneklerinin ATR-FTIR spektrumları 6  $\text{cm}^{-1}$  çözünürlükte ve spektra başına 32 tarama şeklinde kaydedilmiştir. 4000 - 600  $\text{cm}^{-1}$  arası taranarak spektralar elde edilmiştir. Bütün EPS spektraları önceden elde edilmiş destile su-etanol (50:50) karışımı spektralarından çıkartılarak elde edilmiştir.

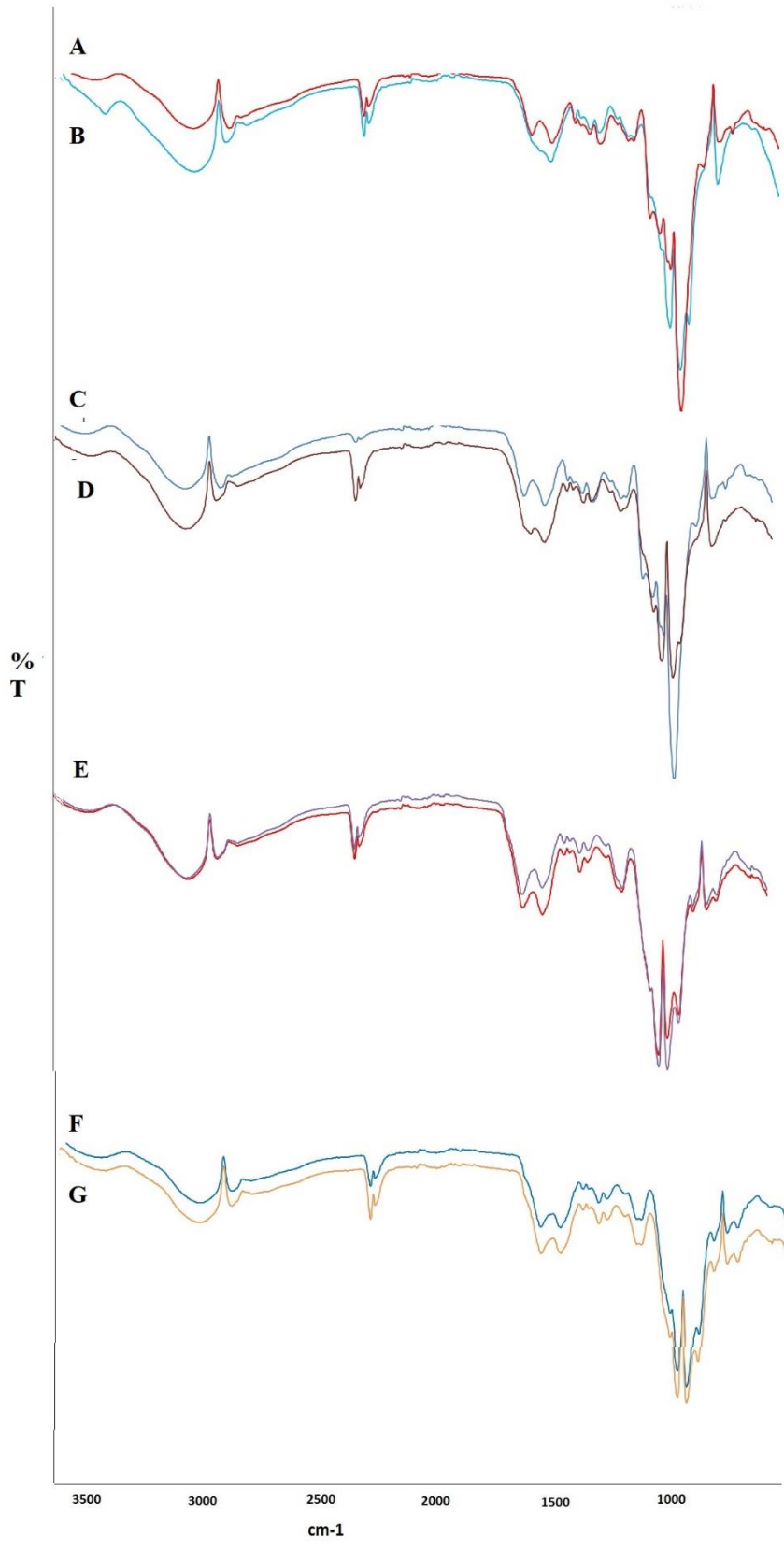


**Şekil 9.** Elde edilen EPS'lerin karşılaştırmalı FTIR spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

Elde edilen EPS örneklerine ait FT-IR spektrumları karşılaştırmalı olarak Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmektedir. EPS örneklerine ait FT-IR spektrumları incelendiğinde piklerin  $817\text{ cm}^{-1}$  ile  $3080\text{ cm}^{-1}$  aralığında olduğu görülmektedir.  $800\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$  aralığı EPS örneklerinde bulunan şekerlerin absorpsiyonunun varlığını yansıtmaktadır.  $992\text{--}890\text{ cm}^{-1}$  bant aralığında beta 1-6 glukanlar ve  $1067\text{--}1017\text{ cm}^{-1}$  aralığında beta 1-3 glukanlar ve  $954\text{--}818\text{ cm}^{-1}$  bant aralığında mannanların varlığından söz edilmektedir (Lal, Sharma, Pruthi, ve Pruthi, 2010). FT-IR spektrumları spesifik olarak O–H, C–H, O=C=O, C=O, C–N bağ gerilmeleri ve C–C halka gerilmelerini işaret etmektedirler (Lal ve ark., 2010). Yapılan bir çalışmada  $3409.14\text{ cm}^{-1}$ ,  $2932.47\text{ cm}^{-1}$ ,  $1725.84\text{ cm}^{-1}$  ve  $1379.63\text{ cm}^{-1}$  olmak üzere 4 band aralığı elde edilmiş ve bu bant aralıklarının hydroxyl, C-H, carboxyl gerilmeleri ve aliphatic CH<sub>2</sub>'nin C–H bükülme gerilmesine işaret ettiği belirtilmiştir (Decker, Dietrich, Klein, ve Von Ohle, 2011).

$1550\text{--}650\text{ cm}^{-1}$  bant aralığı moleküllerin yapısının belirlenmesinde parmak izi bölgesi olarak belirtilmektedir (Chen ve ark., 2017).  $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  aralığında oluşan bantlar genellikle C-O-C gerilmesi ve C-O-H bükülme gerilmesine işaret ettiği belirtilmektedir. Bu da EPS örneklerinin pyranose halkasına sahip olduğunu belirtmektedir. Ayrıca  $887\text{--}810\text{ cm}^{-1}$  aralığında oluşan bantların mannose varlığına işaret ettiği ifade edilmektedir (Chen ve ark., 2017).  $1200\text{--}950\text{ cm}^{-1}$  bölgesinin pyranose halkası C-O-C eter bağı ve alkol hidroksil O-H gerilmesini işaret ettiği belirtilmektedir (Zhou ve ark., 2016).  $1030\text{ cm}^{-1}$ 'de absorpsiyonun glucosyl varlığını ve ayrıca  $879$  ve  $810\text{ cm}^{-1}$ 'de oluşan absorpsiyonun mannose varlığını ifade ettiği belirtilmektedir (Pan ve Mei, 2010).

EPS örneklerinin FT-IR spektrumlarının absorpsiyon dalga bantları literatürdeki daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler ile karşılaştırmalı olarak Tablo 7’de verilmiştir. Bun göre; 2944  $\text{cm}^{-1}$ ’de çıkan keskin bant, genellikle glikoz ve galaktoz gibi hekzozların veya ramnoz gibi deoksihekzozların yapısında bulunan metil ve metilen (-CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>) gruplarındaki C-H bağ gerilmelerine, 1644  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant N-asetil grubundaki veya ikincil amidlerin yapısındaki C=O gerilmelerine, 1558  $\text{cm}^{-1}$ ’de çıkan bant proteinlerde bulunan -CO-NH- grubundaki N-H deformasyonuna ve C-N gerilmesine, 1465  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant asimetric C-OH deformasyonuna ve alkanların C-H bükülmesine aittir. Ayrıca, 1396-1440  $\text{cm}^{-1}$  band aralığındaki absorpsiyonlar COO<sup>-</sup> grubunun simetric gerilmesine, C-C ve C-O gerilmesine C=O ve COO<sup>-</sup> gruplarındaki karboksilat asimetric gerilmesine ve -COO<sup>-</sup> gruplarının gerilmesine aittir. 1367  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant karboksil grubunun varlığını belirtirken 1218  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant alifatik aminlerin gerilmesine ve sülfat ester gruplarının O-S-O gruplarına aittir. 1061  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant polisakkarit yapılarıdaki C-O-C ve C-O gruplarına aittir ve EPS’nin yapısındaki monosakkatrit yapıda piranoz halkası bulunduğunu işaret etmektedir. 1014-961  $\text{cm}^{-1}$  bant aralığı glikoz ve galaktoz gibi şeker monomerlerinin varlığını işaret etmektedir ve =C-H ve C-O-C gruplarına aittir. 914  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant ise alfa ve beta glikozidik bağlara aittir. 859  $\text{cm}^{-1}$  bantı D-galactose’un 4-sülfat (C4-O-S) yapılarına aittir. 817  $\text{cm}^{-1}$ ’deki bant ise D-galactose’un 6-sulfate (C6-O-S) grubuna aittir. Elde edilen bu sonuçlardan yola çıkarak elde edilen EPS’lerin yapısında üronik asitler, sülfat grupları ve peptidlerin varlığından söz edilebilir.



**Şekil 10.** EPS örneklerine ait FTIR spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

**Tablo 6.** EPS örneklerine ait FT-IR spektrumları bant aralıklarına karşılık gelen molekül yapıları

Ölçülen dalga sayısı (cm <sup>-1</sup> )	Bağ ve bileşiğin tipi	Referans dalga sayısı (cm <sup>-1</sup> )	Kaynak
3080-2944	C-H gerilmesi	2,980-2,850	(Castellane ve ark., 2017; Castellane, Otoboni, ve Lemos, 2015; Chen ve ark., 2017; Omoike ve Chorover, 2004; Rao, Sudharsan, G, ve Mandal, 2013; Zhang, Liu, Tao, ve Wei, 2016; Zhou ve ark., 2016)
2360	N-H gerilmesi	2359	(Ahluwalia ve Goyal, 2005; Sardari ve ark., 2017)
1644	C=O gerilmesi	1654-1630	(Ahluwalia ve Goyal, 2005; Castellane ve ark., 2017; Chen ve ark., 2017; Omoike ve Chorover, 2004; Rao ve ark., 2013; Sardari ve ark., 2017; Zhou ve ark., 2016)
1558	N-H deformasyonu	1540	(Omoike ve Chorover, 2004; Sardari ve ark., 2017)
1465	C-H bağ gerilmesi	1466-1455	(Omoike ve Chorover, 2004; Subudhi ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2016)
1396-1440	C-C, C=O ve C-O gerilmesi	1445-1390	(Castellane ve ark., 2015; Omoike ve Chorover, 2004; Zhang ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2016)
1367	karboksil grubunun varlığı	1380-1147	(Rao ve ark., 2013)
1218	C-O-C, S=O, O=S=O ve C-N gerilmesi	1248-1140	(Chen ve ark., 2017; Subudhi ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2016)
1061	C-O gerilmesi, C-O-H bükülmesi, asimetrik C-O-C gerilmesi	1200-1000	(Castellane ve ark., 2017; Chen ve ark., 2017; Kiran, Priyadharshini, Anitha, Gnanamani, ve Selvin, 2015; Rao ve ark., 2013; Subudhi ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2016)
961-1014	O-H deformasyonu, C-O gerilmesi; C-O-C ve C-O-P halka titreşimi; O-P-O gerilmesi; =C-H bükülme gerilmesi	1200-983	(Castellane ve ark., 2015; Omoike ve Chorover, 2004; Subudhi ve ark., 2016)
914	asimetrik pyranoid gerilmesi; C-O veya C-O-C glikozidik bantları	914-890	(Chen ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2016)
859	D-galactose 4-sülfat bağları (C4-O-S)	884-845	(Subudhi ve ark., 2016)
817	D-galactose 6-sülfat bağları (C6-O-S)	824-818	(Zhang ve ark., 2016)

#### 4.3.2 GPC analizleri (Boyut Eleme Kromatografisi ile analiz)

Bu amaçla dik açılı ışık saçılması ve kırılma indisi dedektörlü boyut eleme kromatografisi (Viscotek TDA 302) (Viscotek/Malvern Inc., Houston, Texas) ile birlikte Tosoh G3000PWxl

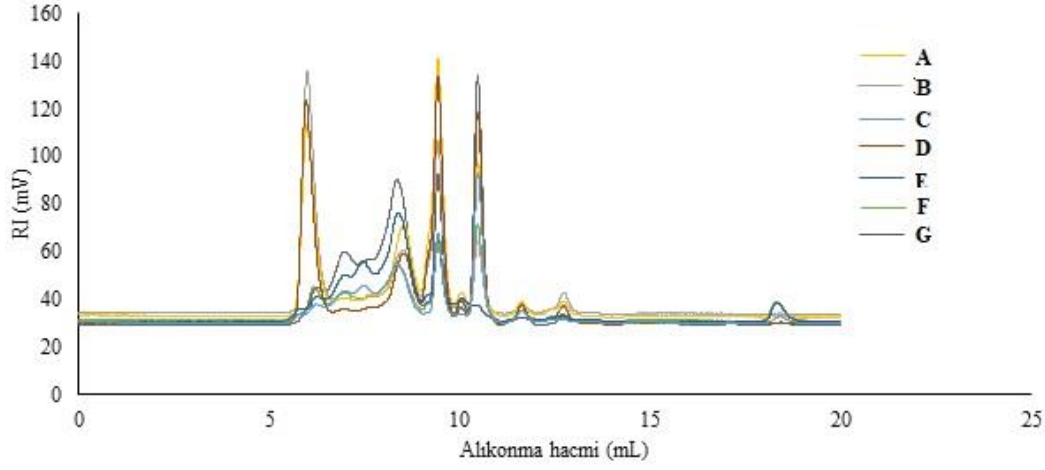
(G3000PWXL column (Tosoh Bioscience, Montgomeryville, PA)) kolonu kullanılmıştır. Boyut eleme kromatografisi (GPC) çalışma prensibi, polimerlerin boyutlarına göre ayrılmalarına ve farklı boyuttaki polimerlerin kolonu farklı zamanlarda terk etmelerine dayanmaktadır (Seedevi ve ark., 2018). Bu sayede polimer çözeltisi içindeki polimer veya polimerlerin boyut dağılımı kromatogram adı verilen bir grafik halinde alınmaktadır. Elde edilen kromatogramlar kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda polimer veya polimerlerin sayıca ortalama molekül kütleleri ( $M_n$ ), ağırlıkça ortalama molekül kütleleri ( $M_w$ ) ve polidispersite değerleri ( $M_w/M_n$ ) bulunabilmektedir.

Mobil faz akışı ve örnek enjeksiyonu Viscotek marka GPCmax model pompa ve otomatik enjeksiyon sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Örnek enjeksiyonu 100  $\mu$ L'lik hacimle yapılmıştır. Tüm örnekler ölçümden önce 0,2  $\mu$ m'lik enjektör filtresinden süzölmüştür. Analiz öncesinde dedektörler, ilgili çalışma şartı için uygun polimer standardı (farklı molekül ağırlığında dekstin ve poli etilen oksit molekülleri) ile kalibre edilmiştir. GPC analizlerinde kullanılan çalışma şartları Tablo 8'de verilmiştir.

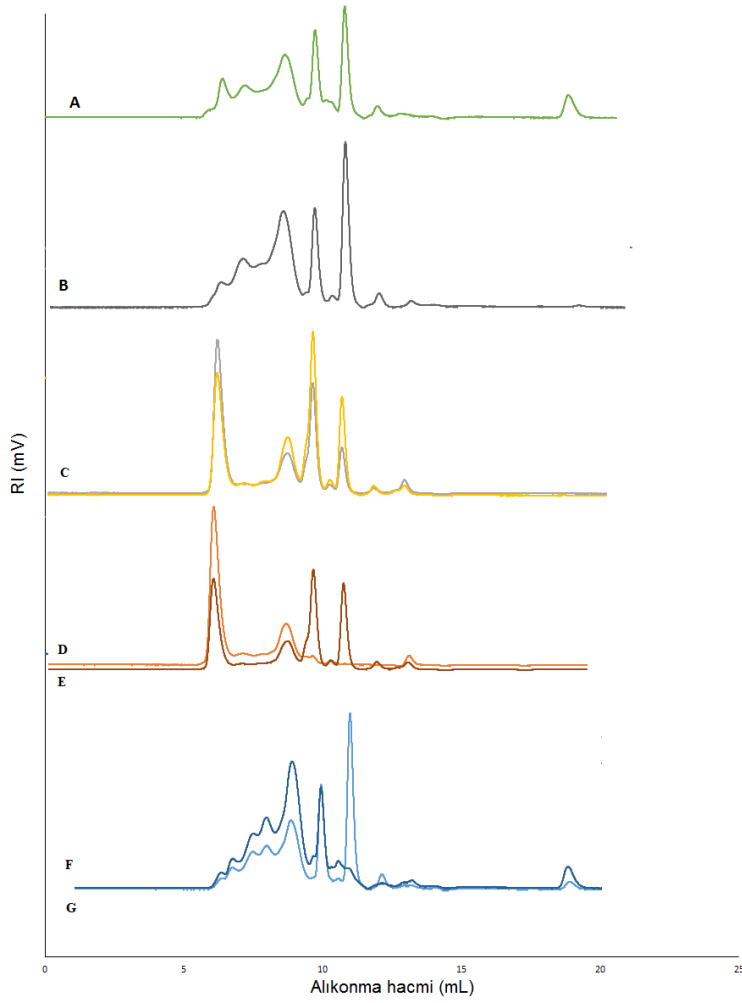
**Tablo 7.** GPC analizlerinde kullanılan çalışma şartları

Kolon	Tosoh G3000PWxl
Akış Hızı	0,8 mL/dak
Enjeksiyon hacmi	100 $\mu$ l
Mobil Faz	PBS, pH 7.2
Sıcaklık	22 °C
Örnek Konsantrasyonu	1,0 mg/mL
Kalibrasyon standardı	pullulan ve poli etilen oksit

Şekil 11 ve Şekil 12'de bu çalışmada elde edilen EPS örneklerine ait boyut eleme kromatogramları (GPC) karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Kromatogramlarda oluşan piklerin alıkonma hacmi azaldıkça polimer zincirinin büyümekte ve pik alanı arttıkça da molekül kütlesi artmaktadır. Kromatogramlardan da anlaşıldığı üzere farklı tür mikroorganizmalardan farklı inkübasyon şartlarında elde edilen EPS'lerin farklı polimer zincirinde ve farklı molekül büyüklük dağılımına sahip oldukları anlaşılmaktadır.



**Şekil 11.** Elde edilen EPSlerin karşılaştırmalı GPC-RI spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)



**Şekil 12.** EPS örneklerine ait GPC-RI spektrumları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

**Tablo 8.** EPS örneklerinin GPC-RI kullanılarak elde edilmiş molekül ağırlıkları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

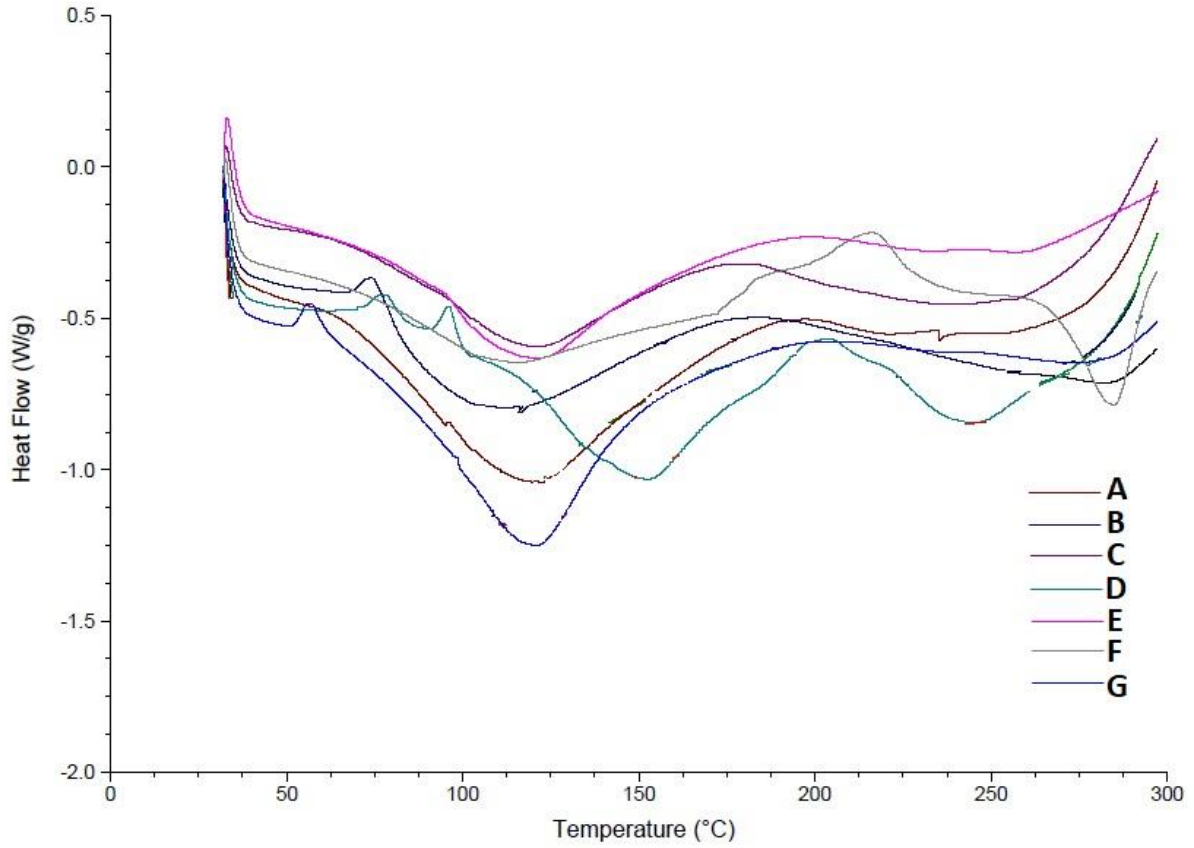
Kombinasyon kodu	Peak (mL)	Mn (Da)	Mw (Da)	Mw/Mn
A	5,98	6,95E+06	8,43E+06	1,21
	6,95	5,56E+05	6,49E+05	1,17
	8,52	4,69E+04	7,83E+04	1,67
	9,42	9,28E+03	1,52E+04	1,64
B	5,99	7,51E+06	8,41E+06	1,12
	6,95	7,17E+05	7,84E+05	1,09
	8,5	7,66E+04	1,19E+05	1,56
	9,42	1,67E+04	2,74E+04	1,64
C	5,96	5,10E+06	5,56E+06	1,09
	6,98	6,32E+05	7,98E+05	1,26
	8,48	7,46E+04	1,14E+05	1,52
D	5,96	8,30E+06	8,81E+06	1,06
	6,95	7,72E+05	9,36E+05	1,21
	7,8	3,02E+05	3,16E+05	1,04
	8,52	5,71E+04	7,38E+04	1,29
	9,42	1,08E+04	1,76E+04	1,63
E	5,83	6,42E+06	6,60E+06	1,03
	6,24	1,74E+06	2,37E+06	1,37
	6,99	3,57E+05	4,02E+05	1,13
	7,45	1,25E+05	1,33E+05	1,06
	8,38	3,54E+04	4,24E+04	1,20
F	6,17	2,21E+06	6,26E+06	2,83
	6,98	1,65E+05	1,94E+05	1,17
	8,34	3,00E+04	3,83E+04	1,28
G	6,23	1,49E+05	4,15E+05	2,79
	6,97	1,77E+04	2,03E+04	1,14
	8,34	2,67E+03	3,59E+03	1,35

Elde edilen EPS örneklerinin molekül ağırlıkları Tablo 8'de verilmiştir. Yapılan bir çalışmada *Lactobacillus rhamnosus* kullanılarak elde edilen EPS'lerin ortalama molekül kütlesi  $5.0 \times 10^7$  ve  $2.1 \times 10^7$  Da olarak tespit edilmiştir (Van Calsteren, Pau-Roblot, Bégin, ve Roy, 2002). Yapılan başka bir çalışmada ise *Lactobacillus plantarum* kullanılarak elde edilen EPS moleküllerinin kütlesi  $2,55 \times 10^5$  ile  $2,83 \times 10^5$  Da aralığında tespit edilmiştir (Ismail ve Nampoothiri, 2014). Diğer bazı çalışmalarda da bazı *Lactobacillus* türlerinden elde edilen EPS molekül kütlesinin 104 ile 106 Da arasında olduğu rapor edilmiştir (De Vuyst, 1999; Vijayendra, Palanivel, Mahadevamma, ve Tharanathan, 2008, 2009). Bu çalışmada ise elde edilen EPS'lerin molekül kütlelerinin ortalama 104 ile 106 Da aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen bu veriler, daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler ile uyumluluk göstermektedir.

#### 4.3.3 DSC analizleri

Elde edilen EPS örneklerinin termal özellikleri diferansiyel tarama kalorimetresi DSC (Q100, TA Instruments Inc., New Castle, DE, USA) cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu amaçla 10 mg liyofilize kurutulmuş örnek hermetik olarak alüminyum örnek kabında hazırlanmış 25 °C'den 250 °C'ye kadar 10 °C/dakika artışla ısıtılmıştır. Transfer gazı olarak azot gazı 20 mL/dak akış hızında kullanılmıştır. Boş alüminyum kabı referans olarak kullanılmıştır.



**Şekil 13.** EPS örneklerinin DSC kromatogramları (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

Farklı türler kullanılarak ve uygulanan farklı inkübasyon koşullarında elde edilen EPS örneklerinin termal davranışları arasında fark olup olmadığını anlamak için DSC analizleri yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 13'te verilmiştir. Tablo 9'da verilen endotermik pik değerleri incelendiğinde endotermik geçiş sıcaklık değerlerinin farklı olmasına rağmen birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 13'te görüldüğü üzere EPS örneklerinin termal stabilitelerinin birbirinden farklı olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 9.** EPS örneklerinin endotermik geçiş sıcaklık değerleri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

Kombinasyon kodu	Endotermik geçiş sıcaklığı (°C)
A	120
B	116
C	135
D	132
E	120
F	114
G	120

Yapılan bir çalışmada *Streptococcus phocae* PI80'den elde edilen EPS için endotermik pikin 120 °C'de oluşmaya başladığı tespit edilmiştir (Kanmani ve ark., 2011). Başka bir çalışmada *Nostoc carneum*'dan ekstrakte edilen EPS için endotermik pikin 107 °C civarında olduğu rapor edilmektedir (Hussein, Abou-EIWaf, Shaaban-De, ve Hassan, 2015). Bir başka çalışmada ise bu değer 116 °C olduğu tespit edilmiştir (Mandal, Singh, ve Patel, 2011). Rapor edilen bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere farklı kaynaklarda elde edilen EPS'lerin farklı termal davranış gösterebileceği sonucu ortaya çıkmaktadır ve bu çalışmada farklı türlerden elde edilen EPS'lerin termal davranışlarının farklı olduğu görülmektedir (Tablo 9).

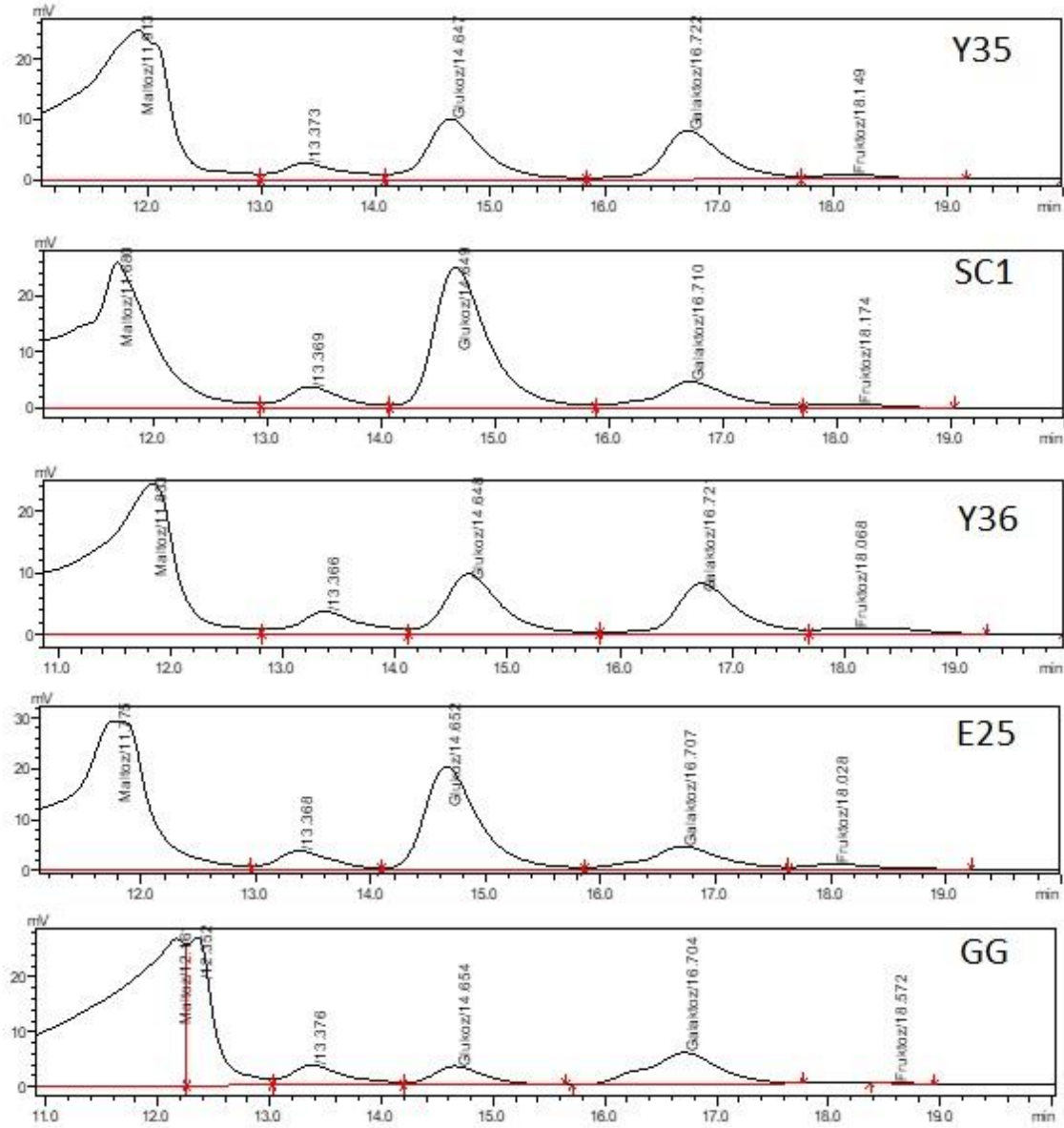
#### 4.3.4 EPSlerin monosakkarit içerikleri

EPS'lerin monosakkarit kompozisyon analizi HPLC ile yapıldı. Tablo 10'da, standar şeker çözeltisinde bulunan şekerler ve ortalama alıkonma süreleri verilmiştir. Bu tabloya göre, beş farklı türden elde edilen EPS'lerin HPLC analiz sonuçlarına (Şekil 14) göre EPS örneklerinin hepsinde belli miktarlarda Maltoz, Glikoz ve Galaktoz olduğu tespit edilmiştir. Bu verilere göre elde edilen EPS'lerin heteropolisakkarit yapıda oldukları söylenebilir. Benzer heretopolisakkarit yapı Dilna vd (2015) tarafından rapor edilmiştir.

**Tablo 10.** Standart şeker çözeltisindeki monosakkaritlerin yaklaşık alıkonma süreleri

Şekerler	Alıkonma Süreleri (dk)
Ksiloz	16
Mannoz	16
Ramnoz	16
Arabinoz	18
Maltoz	11
Glukoz	14
Galaktoz	16
Fruktoz	18

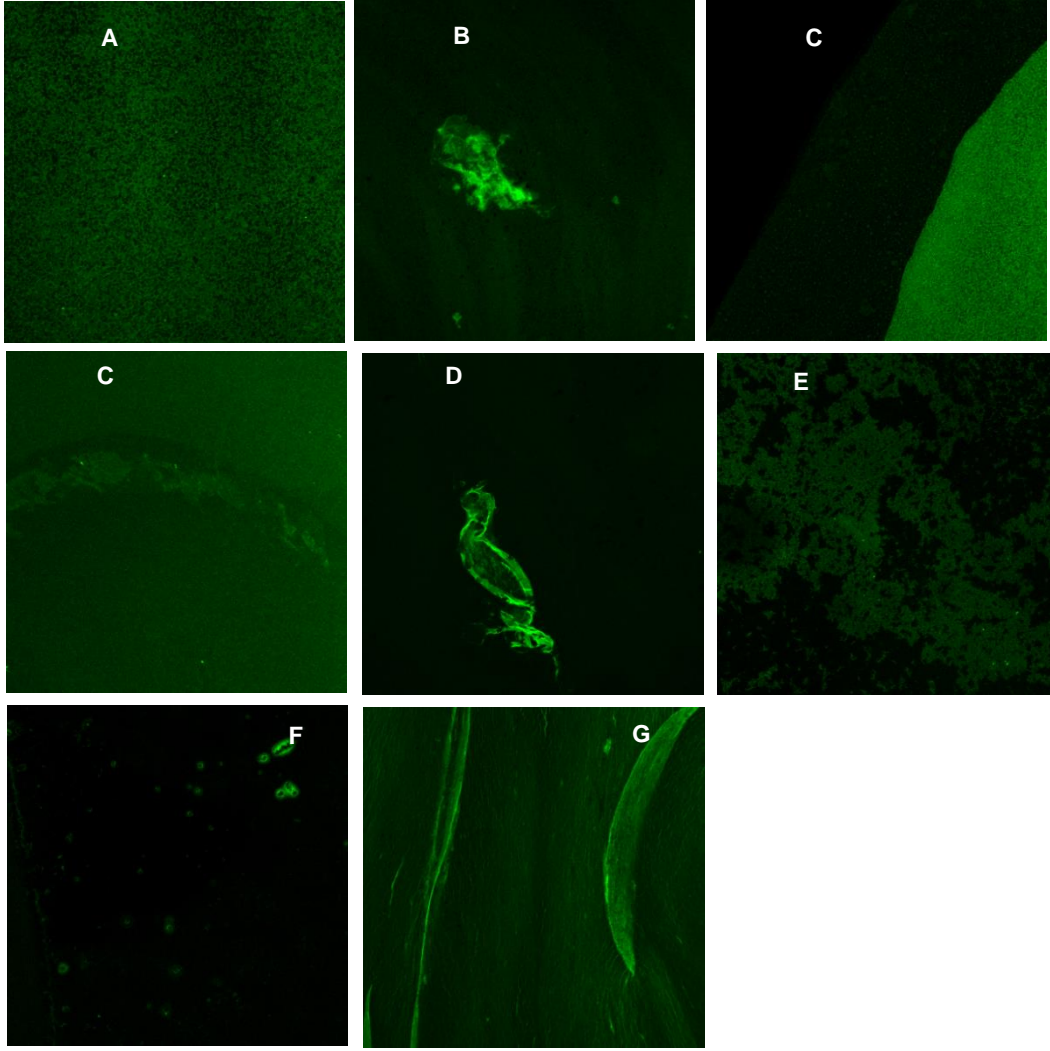
Şekil 14'te farklı EPS örneklerinin şeker analizlerine ait elde edilen pikler verilmiştir.



Şekil 14. EPS'lerin HPLC analiz sonuçları

#### 4.3.5 CLSM görüntüleme

Elde edilen EPS örneklerinin konfokal lazer taramalı mikroskop altında görüntüleri incelenerek EPS moleküllerinin görüntülenmesi yapılmıştır. Bu amaçla 0.05 mg liyofilize katı EPS örnekleri eppendorf tüplerine konularak üzerine 1 ml su ilave edilerek suda çözündürülerek başka bir eppendorf tüpüne 15 µl alınıp üzerine 15 µl boya çözeltisi (Lectin SBA Alexa Fluor 488 conjugate) ilave edilerek 30 dk boyunca karanlıkta inkübe edilmiştir. 30dk sonra lam üzerine bir miktar alınarak konfokal mikroskopunda 63 büyütme yağlı objektif kullanılarak 480 nm dalga boyunda bakılmıştır (Goh, Haisman, ve Singh, 2005). Elde edilen görüntüler Şekil 15'te verilmiştir.

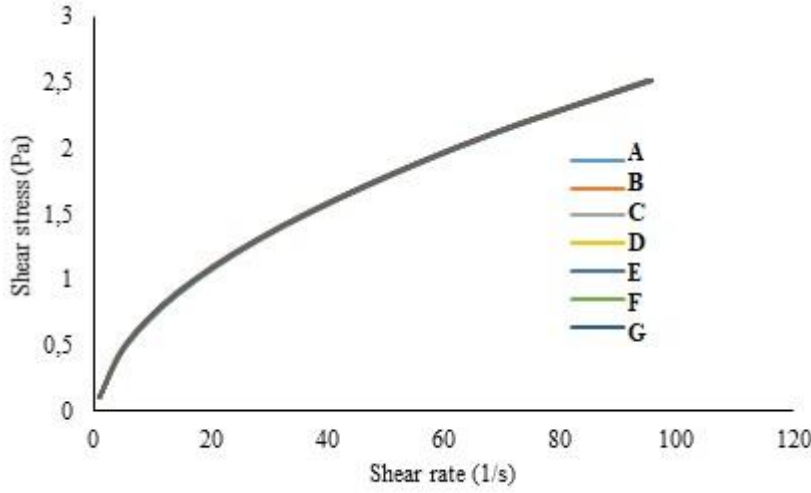


**Şekil 15.** EPS'lerin CLSM görüntüleri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

Şekil 15'te de görüldüğü üzere yeşil floresan ışık veren EPS yapılarının varlığı söz konusudur. Hazırlanan EPS çözeltisinin seyreltik olması nedeniyle yeşil floresan yansıması çok yoğun olmasa da EPS varlığı açıkça görülebilmektedir.

#### 4.3.6 Reolojik analizler

Elde edilen EPS örneklerinin reolojik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 50 mg liyofilize EPS tartılarak cam tüpe alındıktan sonra üzerine 10 ml saf su eklendi (%0,5) (ağ/hac). Yarım saat 30 derecede ultrasonik cihazında homojenize edilerek 1 gün boyunca oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırıldı ertesi gün analiz edildi. Hazırlanan örnek steady shear (sabit kayma) analizde stress kontrollü teste tabi tutuldu ve 0,1-100 Pa stress aralığında 0,5 mm gap aralığında çalışıldı. Ölçümler, Anton Paar Modular Compact Rheometer MCR302 ve 50PP (paralel plate 50mm) probu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 16'da ve Tablo 11'de verilmiştir.



**Şekil 16.** EPS örneklerinin kesme gerilimi ölçümleri (harfler, Tablo 5’te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

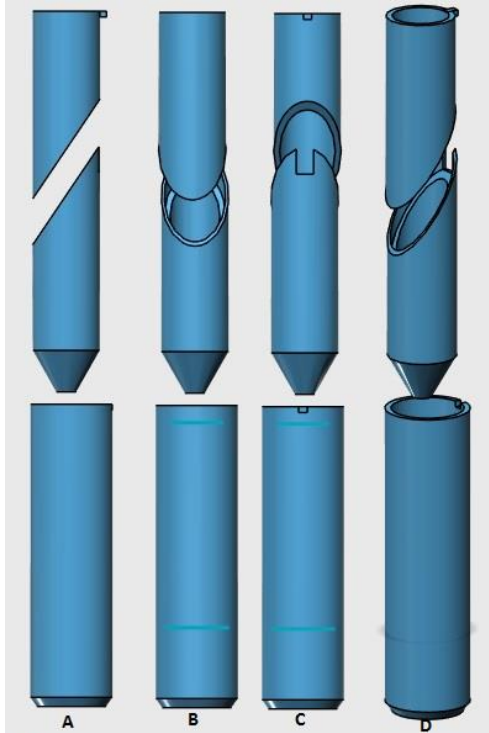
Günümüze kadar EPS’lerin reolojik özelliklerinin belirlenmesinde çoğunlukla Power Law modeli kullanılarak consistency coefficient (K) ve flow behaviour index (akış davranış indeksi) (n) parametreleri belirlenmiştir (Ribeiro ve Burkert, 2016). K değerindeki artışın polimer konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak vizkozite değerinde artışa neden olduğu belirtilmektedir. n değerindeki değişim ise Newtonian davranıştaki değişimler hakkında bilgi vermektedir. n değeri 1’in altında olduğunda örneğin pseudoplastik davranış sergilediği belirtilmektedir (Ribeiro ve Burkert, 2016). Yapılan bir çalışmada (Castellane, Lemos, ve Lemos, 2014), %0,5 konsantrasyonda hazırlanan EPS çözeltilerinin pseudoplastik davranışa sahip olduğu belirlenmiştir. Üç farklı türden elde edilen EPS örnekleri için hesaplanan K değerleri, 0,29, 2,1 ve 1,9 olarak verilmektedir. n değerleri ise 0,41, 0,25 ve 0,26 olarak rapor edilmektedir. Başka bir çalışmada (Moretto ve ark., 2015) ise %0,5 konsantrasyonda hazırlanan dört farklı türden elde edilen EPS çözeltilerinin n değerlerinin 0,32, 0,17, 0,34 ve 0,26 olduğu; K değerlerinin ise 1,0, 3,1, 1,0 ve 1,90 olduğu rapor edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler, daha önceden yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle uyumluluk göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan türlerden elde edilen EPS’lerin K değeri literatürdeki verilere göre daha düşüktür. Bu da polimer konsantrasyonunun düşük olduğunu ifade etmektedir. N değerinin 1’in altında olması, EPS çözeltilerinin pseudoplastik özellik gösterdiğini ifade etmektedir.

**Tablo 11.** EPS örneklerinin konsistens indeksi ve akış davranış indeksi verileri (harfler, Tablo 5'te verilen kombinasyon kodlarını ifade etmektedir)

Kombinasyon kodu	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
A	0,207	0,550	0,999
B	0,202	0,554	0,999
C	0,202	0,555	0,999
D	0,197	0,560	0,999
E	0,196	0,561	0,999
F	0,201	0,556	0,999
G	0,194	0,564	0,999

#### 4.4 Santrifüj tüpü dizaynı ve üretimi

Bu proje kapsamında gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasının karakterizasyonu ve ölçümü için santrifüj cihazının kullanılması planlanmıştır. Bu amaçla santrifüj rotorunda bulunan tüp yuvaları için gıda örneğini dönme eksenine dik konumda tutmuş örnek tutucu tüpler CAD programı kullanılarak dizayn edilmiş (Şekil 17) ve sonrasında 3D yazıcı teknolojisi yardımı ile 6 adet 50 mL ve 10 adet 5 mL hacime sahip olacak şekilde üretilmiştir (Şekil 18).



**Şekil 17.** Örnek tutucu tüp çizimleri (A-yandan görünüş, B-önden görünüş, C-arkadan görünüş, D-genel görünüş)



**Şekil 18.** 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş örnek tutucu tüpler (üstte 50 mL hacimdeki tüpler ve altta 5 mL hacimdeki tüpler)

#### **4.5 Testlerde kullanılmış olan cipslerin ön deneme üretimlerinin gerçekleştirilmesi**

Gıda tozlarının yapışma gücünü analiz etmek için kullanılması ön görülen mısır cipslerinin üretim denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla 50 gram mısır ununa 1 gr ksantan gam (%2) ve 0,5 gr tuz (%1) eklenerek 34 ml saf su yavaş yavaş eklenmek suretiyle hamur eldesi için 10 dakika boyunca karıştırıldı. Karıştırma işleminden sonra hamur 30 dakika dinlendirildi. Bir kısmı Şekil 12'de görülen kalıp kullanılarak şekil verildikten sonra fırında 200 °C'de 20 dakika pişirildi. (Şekil 19). Geri kalan kısım ise ayçiçeği yağında 200-230 °C'de 2 dakika kızartılmıştır. Kızartılan cips örnekleri ile yapılan adhezyon testleri sonuçları fırında pişirilmiş ve yüzeyine ayçiçek yağı uygulanmış cips örnekleri ile benzerlik gösterdiğinden yağda kızartılan cips örnekleri kullanılarak elde edilen veriler bu raporda ayrıca verilmemiştir.



**Şekil 19.** Elde edilen mısır cipsleri

#### 4.6 Toz örneklerinin nem ve hidrofobisite analizleri

Hidrofilik özelliğin belirlenmesi için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara bakıldığında en güçlü hidrofilik yapıya sahip olan örneğin nişasta olduğu, ardından sırayla ksantan gam, kakao tozu ve kırmızı biber örneklerinin geldiği görülmektedir (Tablo 12). Güçlü hidrofilik yapısı nedeniyle tuz bu teste tabi tutulmamıştır (Armstrong ve Barringer, 2013).

**Tablo 12.** Toz örneklerinin nem içerikleri, partikül büyüklükleri ve hidrofilik özellikleri

	Nem (%)	D[4,3] <sup>a</sup>	Hidrofilik özellik <sup>b</sup>	
			Petrol eteri	Etanol
Tuz (µm)				
63-100	0.33±0.01	-	-	-
100-200	0.32±0.03	-	-	-
200-425	0.23±0.01	-	-	-
425-500	0.41±0.02	-	-	-
Toz örnekler				
Nişasta	8.62±0.05	120	0.02	99.98
Kakao tozu	6.71±0.09	136	4.57	95.43
Ksantan gamı	9.22±0.08	91	0.27	99.73
Kırmızı biber tozu	6.67±0.09	190	7.83	92.17
Mısır cipsi	8.07±0.07	-	-	-

<sup>a</sup>Hacimsel ortalama çap (µm)

<sup>b</sup>birbiri ile karışmayan iki çözgüde kalan kısımlar (% , ağı/ağı)

#### 4.7 EPS'lerin tuz partikülleri ve cam küreciklerin gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerinin belirlenmesi

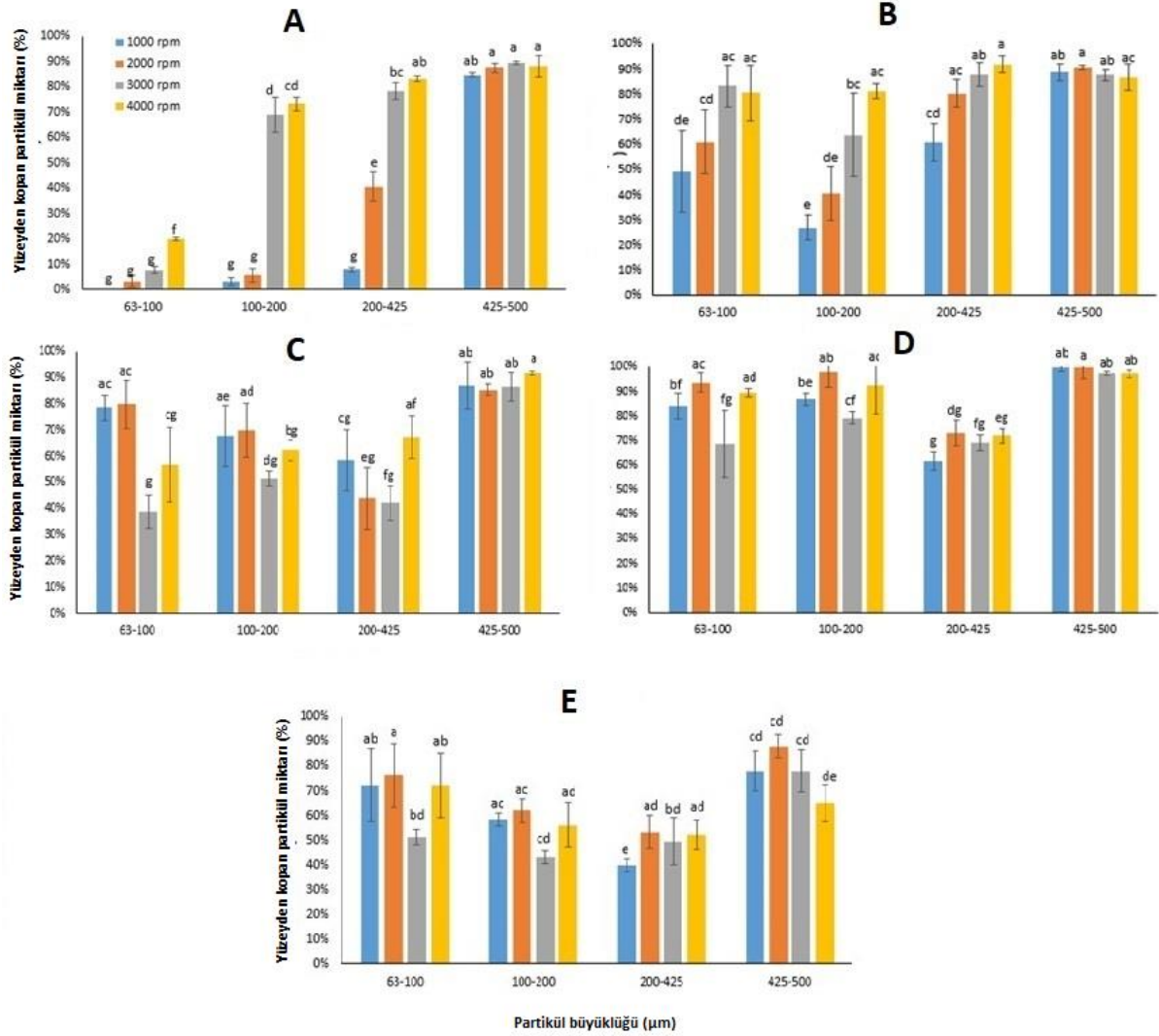
Bu aşamada mısır cipsi örnekleri hazırlanmış (Şekil 20) ancak santrifüj tüplerinde yüksek devirlerde (2000 rpm ve üzeri) kırılmışlardır. Bu nedenle B planı devreye alınarak 1 mm kalınlığındaki ahşap pullar istenilen elips şeklinde kesilerek testlerde kullanılmıştır (Şekil 3c). ayrıca mısır cipsi örneklerinde yüksek devirlerde testler yapabilmek için daha küçük hacme sahip 10x5 mL rotor (INO-HT, Inovia) kullanılmıştır (Şekil 18).



**Şekil 20.** Fırında pişirilerek üretilmiş cips örnekleri (solda), santrifüj tüpünde kırılmış olan cipsler (sağda)

Cam partiküllerin ayçiçek yağı ile kaplanan kaplama yüzeyine yapışma (adhezyon) gücü, partikül büyüklüğünün azalmasıyla önemli ölçüde artmıştır (Şekil 21). Bu davranış, partikül adezyonunun partikül ağırlığına oranının partikül büyüklüğünün karesi ters orantılı olması ile açıklanabilir. Bu da küçük partiküllerin, birbirlerine ve yüzeylere, büyük partiküllerden çok daha güçlü bir şekilde yapışmasının bir nedeni olabilir (Schubert, 1987). Bu nedenle, partikül büyüklüğünün azaltılması, birim hacim başına yüzey alanında artışa neden olur ve bu da küçük partiküller üzerinde etkili olan daha güçlü yapışma kuvvetlerine katkıda bulunur (Adhikari ve ark., 2001; Ermis ve ark., 2011; Miller ve Barringer, 2002). Şekil 21'den de görülebileceği gibi, santrifüj dönme hızının artması, toz ile kaplanmış yüzeylerden (özellikle yağ ve su uygulanmış örnek yüzeylerinden) daha fazla partiküllerin koparak ayrılmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, santrifüj hızındaki artış, EPS uygulanmış yüzeylerde benzer bir etki göstermemiştir. Bu durum, EPS'nin yapısının bir sonucu olarak ortaya çıkabilir ki hidrokolloid yapıların davranışlarını dallanma, şeker türleri ve fraksiyonları ve moleküler ağırlığı gibi faktörler önemli derecede etkilemektedir. Bazı araştırmacılar, kullanılan hidrokoloit tipinin ve konsantrasyonunun yapışma özelliklerine etki eden faktörlerden olduğunu bildirmiştir (Ben-Zion ve Nussinovitch, 1997). Ahşap pul yüzeylerine EPS çözeltisi uygulandığında, ince tozların (63-100 ve 100-200  $\mu\text{m}$ ) diğer fraksiyonlara (200-425 ve 425-500  $\mu\text{m}$ ) kıyasla benzer veya daha zayıf bir yapışma gösterdiği tespit edilmiştir. Bu davranış, ince partiküllerin bir araya gelerek aglomerasyon davranışına ve dolayısıyla EPS yapısının yardımıyla büyük partiküller oluşturmasına atfedilebilir. Yağ uygulanmış yüzeylerdeki cam partiküllerinin yapışma davranışlarındaki farkın nedeni cam partikülleri ile yağın birbirine olan ilgi derecesine bağlı olabilir. Toz örneklerin, uygulanan sıvı arayüze olan ilgisi, nispi hidrofilitik/hidrofobik özelliklerinden yüksek oranda etkilendiği düşünülmektedir. Moleküllerin benzer polariteye

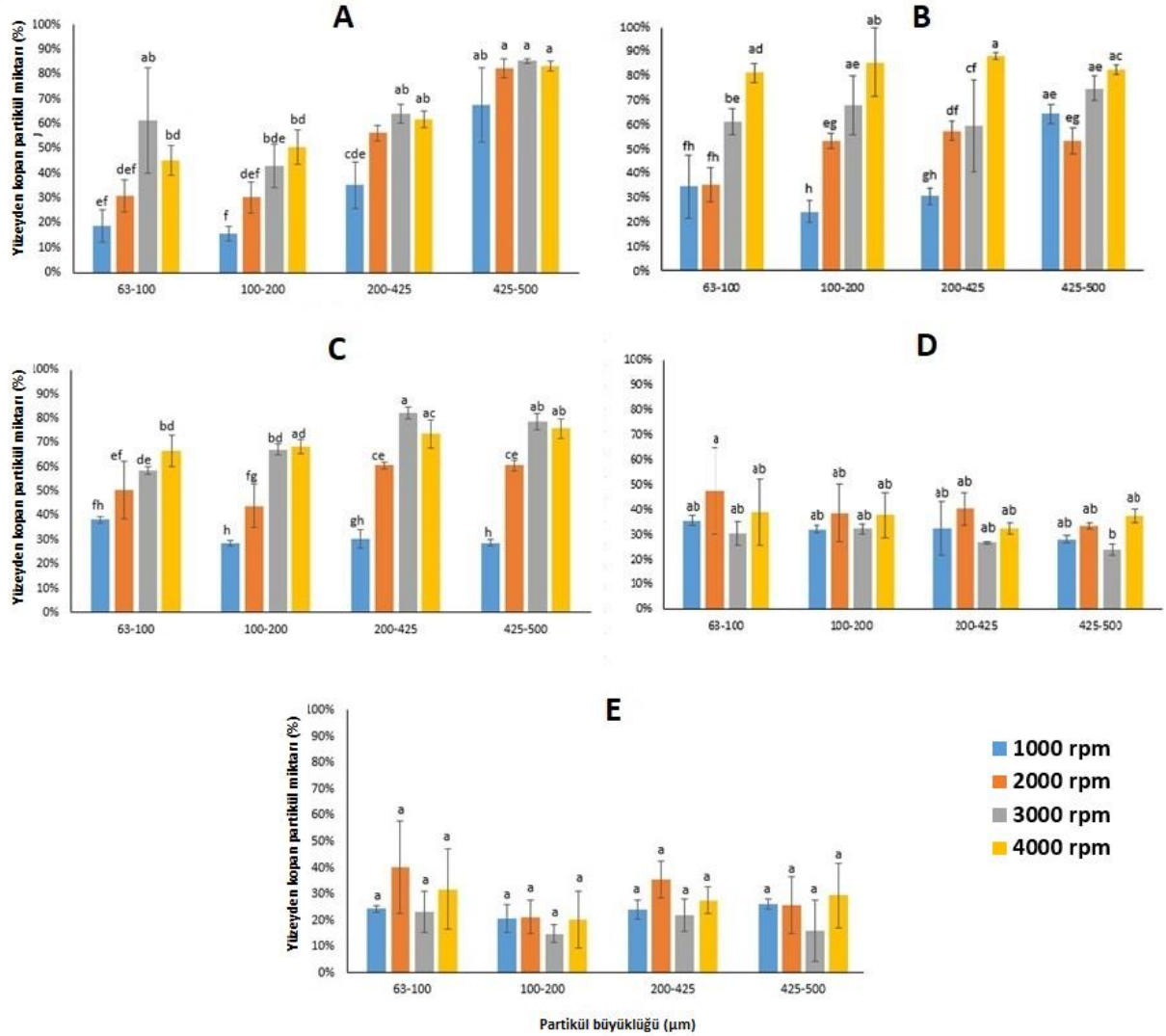
sahip olması, katı parçacıklar ve sıvı tabaka arasında artan etkileşime yol açtığı bildirilmiştir (Dopfer ve ark., 2013).



**Şekil 21.** Cam partiküller ahşap yüzeye yapışma davranışları (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C-%20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru)

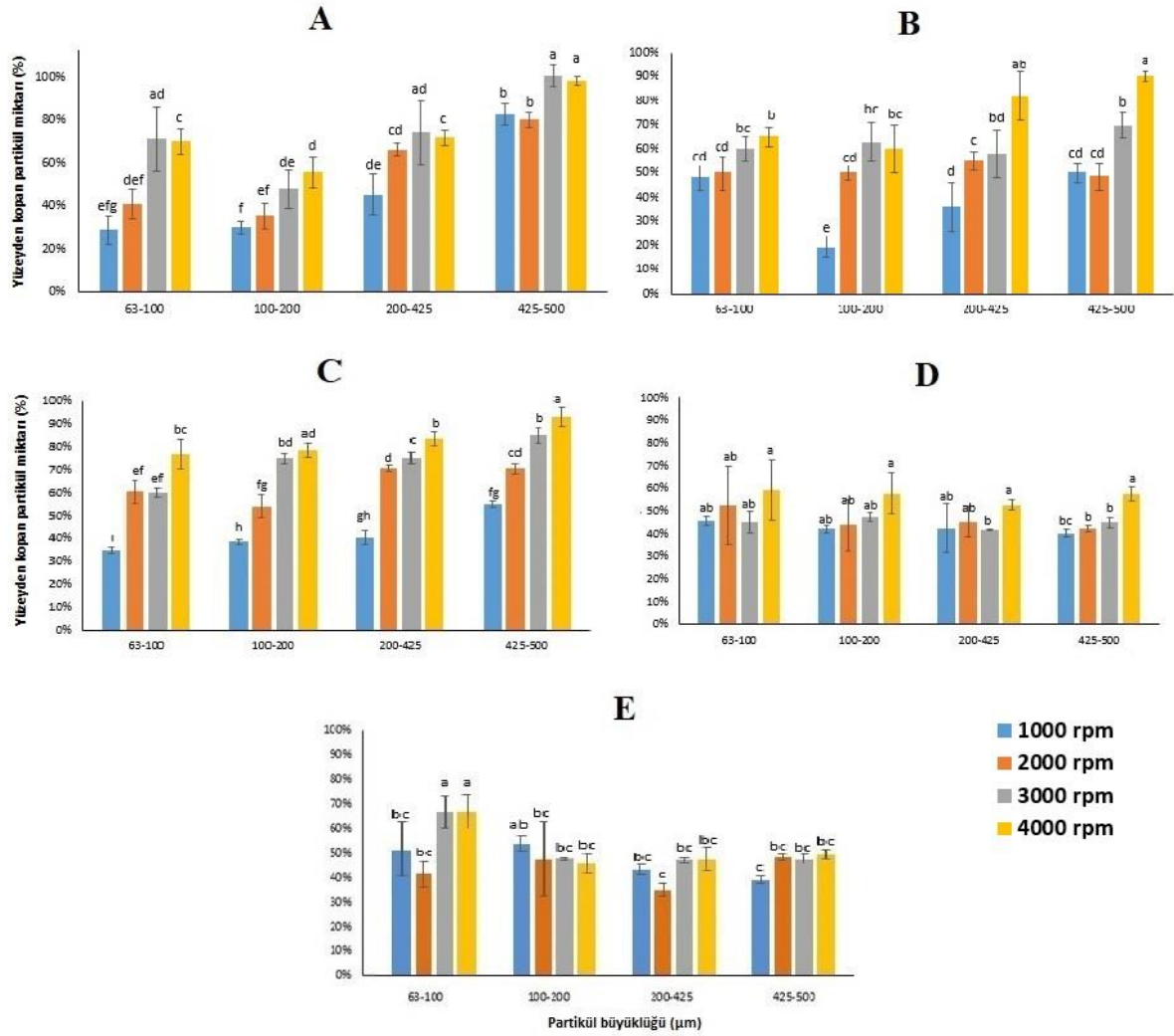
Ahşap pul yüzeylerinden kopan tuz partiküllerinin miktarının artan santrifüj hızı ile arttığı bulunmuştur (Şekil 22). Daha önceki yapılan bazı araştırmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Buck ve Barringer, 2007; Enggalhardjo ve Narsimhan, 2005). Sumonsiri ve Barringer (2011) tarafından havuç, ekmek, marul ve kraker gibi gıda maddelerinin yüzeylerinde tuz partiküllerinin büyüklüklerinin 332 den 119  $\mu\text{m}$ 'ye gidildikçe yapışma dayanımının önemli ölçüde arttığı bildirmiştir. Bu çalışmada, cips yüzeyini kaplamak için ayçiçek yağı kullanıldığında daha küçük tuz partikülleri daha iyi bir yapışma göstermiştir (Şekil 22). Bununla birlikte, EPS çözeltileri kullanıldığında, tuz parçacıklarının büyüklüğü, yapışmayı önemli ölçüde etkilememiştir. Bu davranış, ince parçacıkların aglomerasyonu ile bağlantılı olabilir. Özellikle %20 EPS ve %40 EPS uygulanmış ahşap pul yüzeylerinde, tüm fraksiyonların adhezyonu

arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir ( $p < 0.05$ ). % 20 EPS çözeltisi, ayçiçeği yağı ile karşılaştırıldığında bazı değişimler dışında benzer adhezyon davranışları gösterdiği görülmekle birlikte, pul yüzeylerini kurutulması işleminin tuz partiküllerinin yapışmasını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. EPS konsantrasyonunun %20'den %40'a artırılması, ahşap yüzeye yapışma gücünde yaklaşık % 10'luk bir artışa neden olmuştur.



**Şekil 22.** Tuz partiküllerinin ahşap yüzeye yapışma davranışları (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C-%20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru),

Ahşap yüzeylerden kopma davranışlarına benzer şekilde mısır cipsi yüzeylerinden kopan tuz partiküllerinin miktarının artan santrifüj hızı ile arttığı bulunmuştur (Şekil 23). Ancak, EPS konsantrasyonunun %20'den %40'a artırılması, ahşap yüzeye yapışma gücünde olduğu gibi bir artışa neden olmadığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 23.** Tuz partiküllerinin cips yüzeyine yapışma davranışları (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C-%20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru E- %40 EPS kuru)

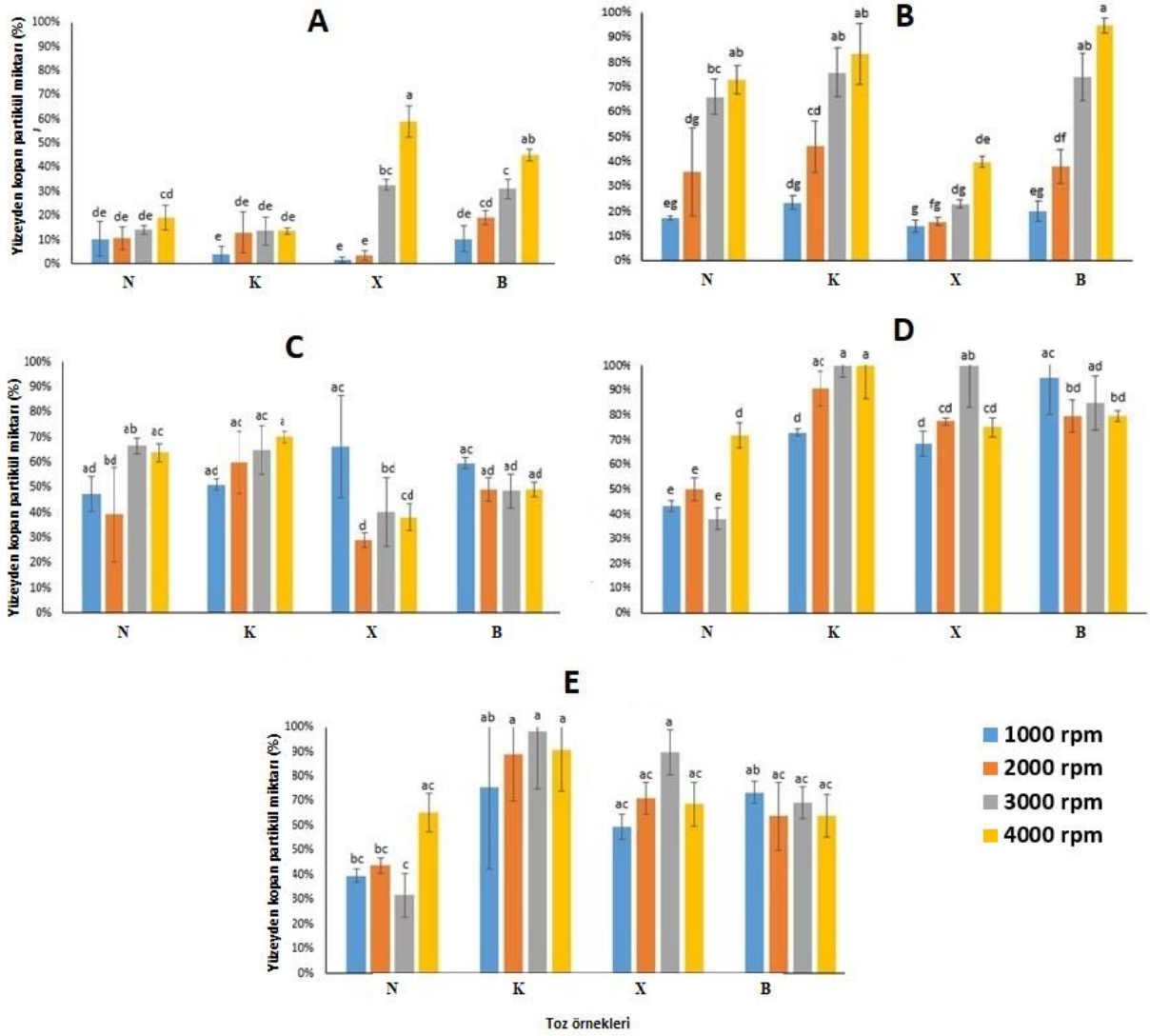
Yapılan bazı çalışmalarda tuz partiküllerinin yüzeylere yapışmasının yağ miktarının artışına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir (Buck ve Barringer, 2007; Enggalhardjo ve Narsimhan, 2005). Armstrong ve Barringer (2013), farklı hidrokoloid çözeltilerinin gıda aroma tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerini incelemişler ve adhezyon kuvvetinin büyüklüğünün gıda aroma tozlarının türüne, fiziksel özelliklerine (partikül şekli, geometrisi, boyutu, dağılımı) ve hidrokoloid çözeltilerinin türüne bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir.

#### 4.8 EPS'lerin çeşitli gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasına etkilerinin belirlenmesi

Seçilen gıda tozu örneklerinin (nişasta, kakao tozu, ksantan gam ve kırmızı biber tozu) ahşap yüzeye yapışma davranışı, Şekil 24'te görülmektedir. Görüldüğü gibi, ayçiçeği yağı, EPS çözeltilerinden daha iyi bir yapışma sergilemiştir. Santrifüj hızının artması, ksantan gamı ve biber tozu için daha fazla miktarda partikülün kopmasına neden olurken, nişasta ve kakao

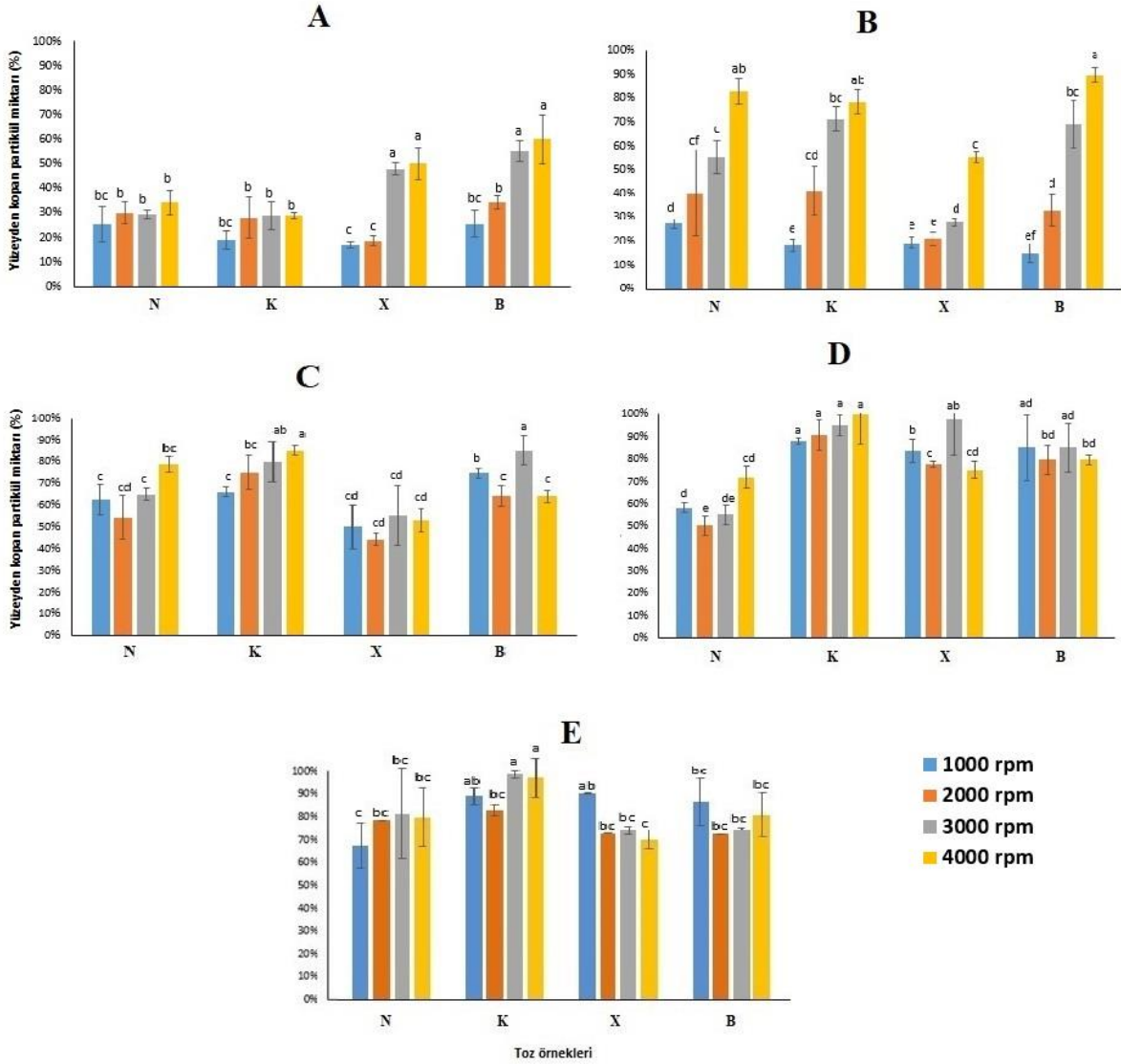
tozları için farklar istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır ( $P<0.05$ ). EPS çözeltisinin uygulanması sonucu ayçiçek yağına kıyasla, ahşap pul yüzeylerinden kopan partikül miktarının çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin, tozların EPS yapısının yüzeydeki toz partiküllerine olan afinitesi ile aglomerasyonundan ve dolayısıyla yapışma direncini azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kopan toz partiküllerinin çoğunluğunun cips yüzeyi ile temas eden partiküllerden ziyade üst üste binmiş partiküllerin oluşturduğu tabakaların dış kısımlarından olduğu düşünülmektedir. Adhezyon, toz partikülleri ile gıda yüzeyi arasında oluşan bir çekim kuvvetidir ve partiküller arasında oluşan kuvvet ise kohezyon kuvvetidir (Adhikari ve ark., 2001). Michalski ve ark. (1997), adhezyon kuvvetlerinin yüzeyden uzaklaştıkça azaldığını ve diğer partikül tabakalarında kohezif kuvvetlerin baskın hale geldiğini bildirmişlerdir.

Kakao tozu ve kırmızı biber tozu örneklerinin, nişasta ve Ksantan gamı ile kıyaslandığında yağ kullanıldığında biraz daha iyi bir yapışma gösterirken, damıtılmış su kullanıldığında nişasta ve ksantan gamının kakao tozu ve kırmızı biber tozu örneklerinden daha iyi yapışma özelliği gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 24). EPS'nin uygulanması ve yüzeyin kurutulması yapışmayı geliştirmemiştir ve bu durum, toz halindeki malzemenin suda çözünürlüğünden dolayı partiküller arasında oluşan katı köprülere atfedilebilir (Adhikari ve ark., 2001). Bu da aglomerasyona ve dolayısıyla yüzeyden daha fazla miktarlarda partiküllerin kopmasına yol açar. Ancak, güçlü hidrofobik yapısı nedeniyle yağ tarafından katı köprü oluşumunun suya oranla yok denecek kadar az olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, kullanılan EPS çözeltilerinin, yağ ve suya kıyasla incelenen toz numunelerinin yapışmasını belirgin bir şekilde iyileştirmede göstermektedir. Bununla birlikte, gıda tozlardan farklı olarak, EPS çözeltileri uygulanıp, yüzey kurduğunda toz partiküllerinin adezyon davranışında belirgin ölçüde değişim kaydedilmiştir.



**Şekil 24.** Gıda tozu örneklerinin ahşap yüzeye yapışma davranışları. N-nişasta, K-kakao tozu, X-Ksantan gamı, B-kırmızı biber tozu. (A-ayçiçek yağı, B-saf su, C- %20 EPS ıslak, D- %20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru)

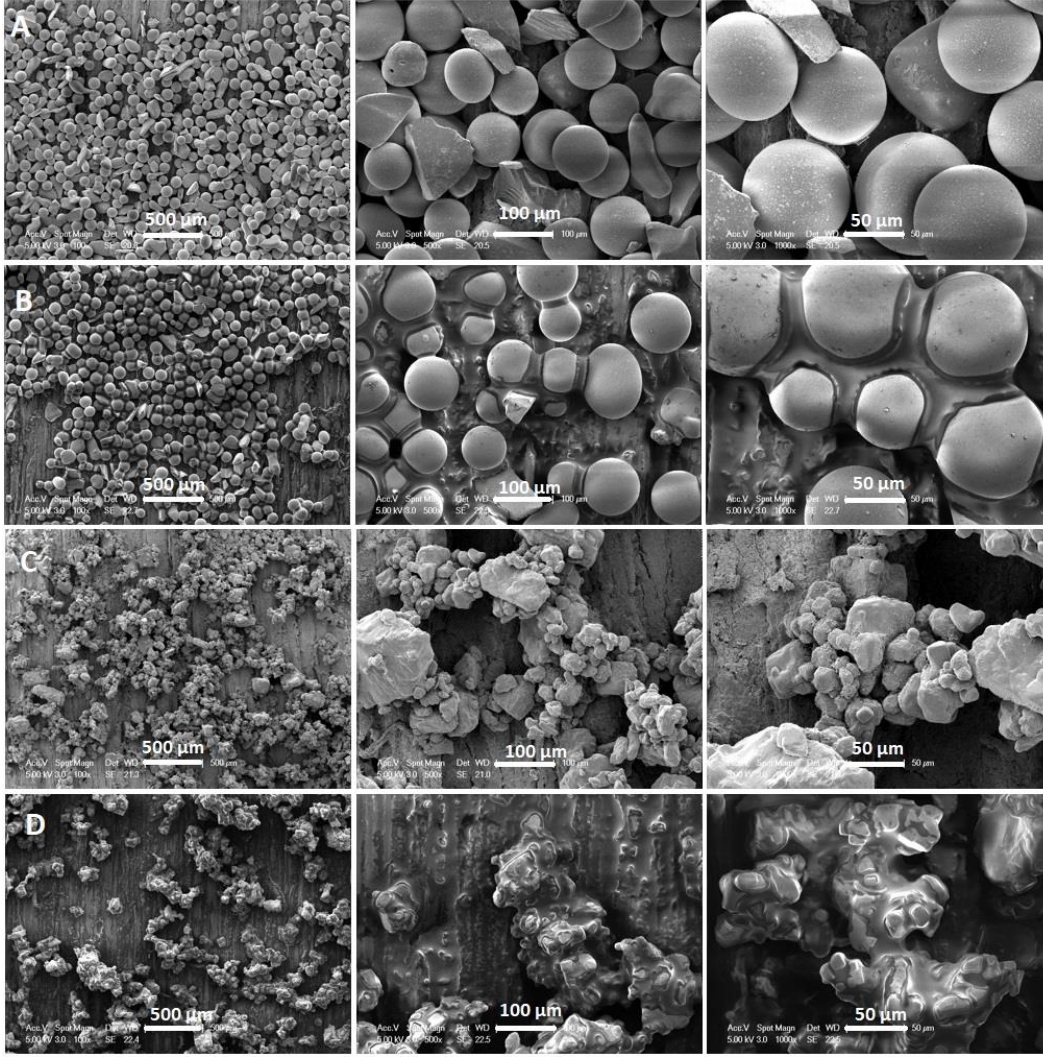
Nişasta, kakao tozu, ksantan gam ve kırmızı biber tozu örneklerinin çips yüzeyine yapışma davranışı, Şekil 25’de görülmektedir. Mısır çipslerinin yüzeylerindeki toz kopma davranışlarının bazı farklılıklar hariç ahşap yüzeylerden kopma davranışlarına benzer şekilde olduğu anlaşılmaktadır.



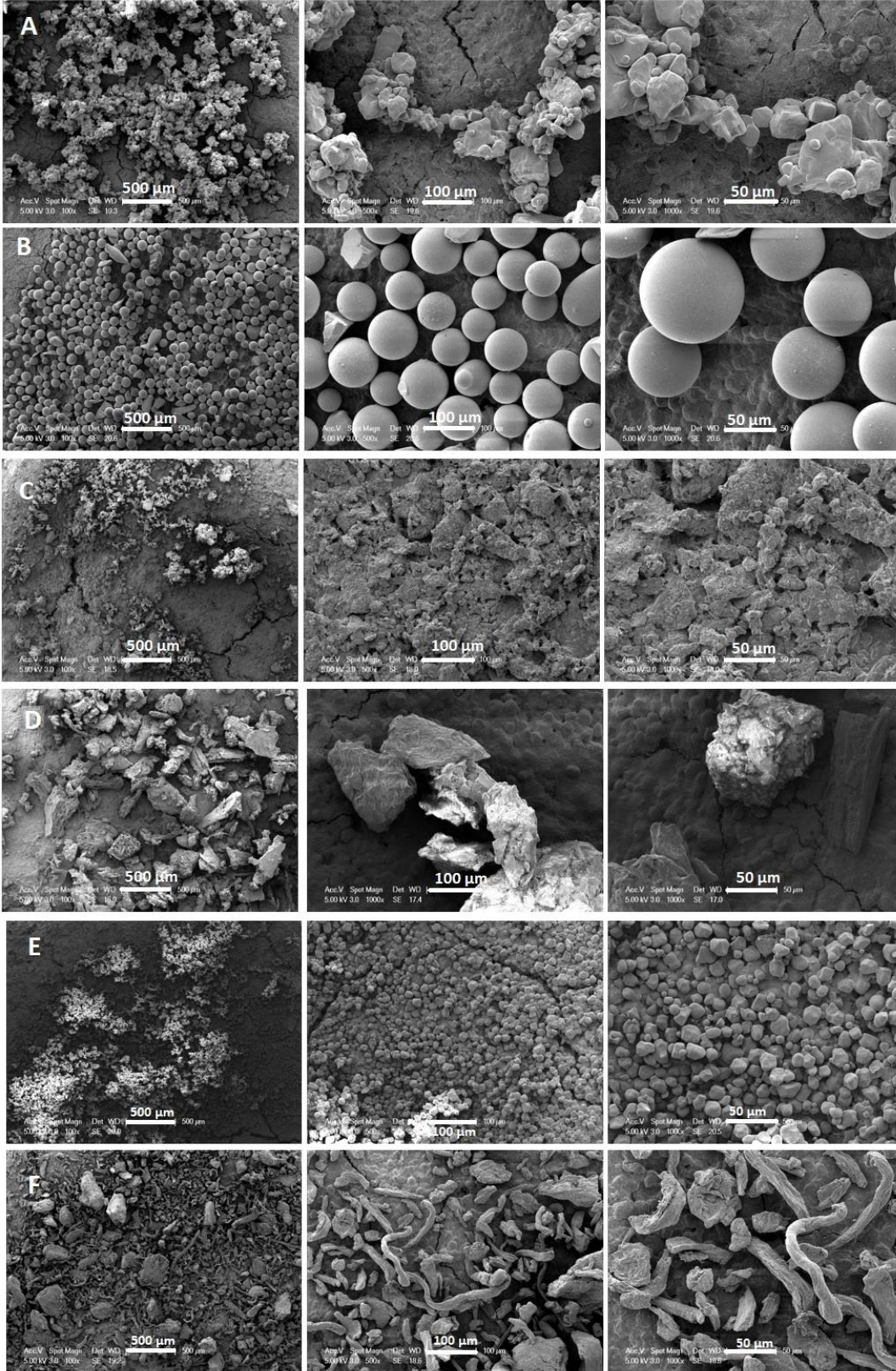
**Şekil 25.** Gıda tozu örneklerinin cips yüzeyine yapışma davranışları. N-nişasta, K-kakao tozu, X-Ksantan gamı, B-kırmızı biber tozu. (A-Ayçiçek yağı, B-saf su, C- %20 EPS ıslak, D-%20 EPS kuru, E-%40 EPS kuru)

#### 4.9 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi

Şekil 26 ve Şekil 27’te bu çalışmada kullanılan toz örneklerinin yüzeylere yapışma davranışlarını gösteren SEM görüntüleri verilmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri incelendiğinde, Ayçiçek yağının partiküller arasında köprüler oluşturduğu ancak EPS’lerin buna benzer bir davranış göstermediği görülmektedir. Buna karşın EPS’lerin bazı gıda tozları için Ayçiçek yağına benzer yapışma davranışları gösterdiği daha önceki başlıklarda tartışılmıştı.



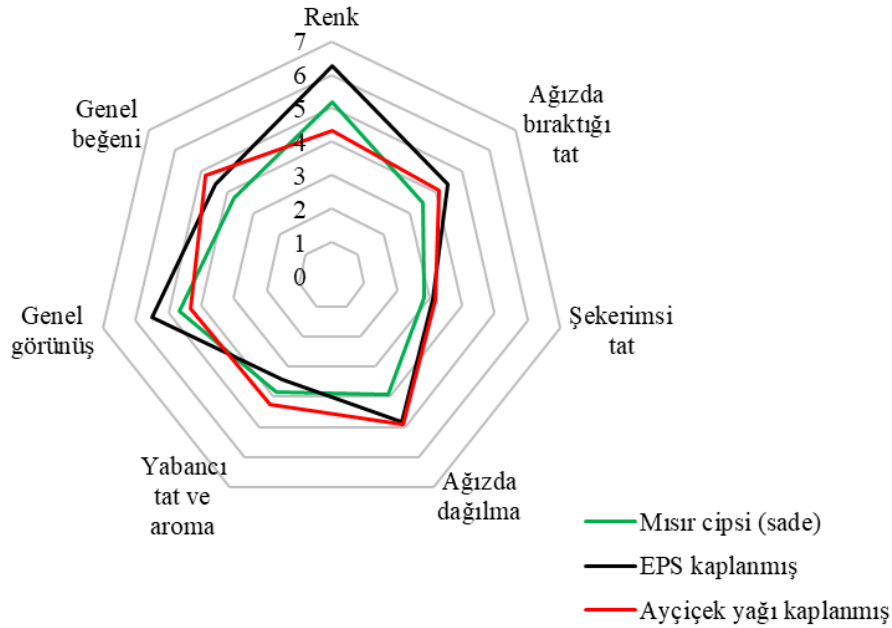
**Şekil 26.** Yüzeyle yapışmış olan cam ve tuz partiküllerinin SEM görüntüleri (A-EPS uygulanmış cam partikülleri, B- yağ uygulanmış cam partikülleri; C-EPS uygulanmış tuz partikülleri, D- yağ uygulanmış tuz partikülleri)



**Şekil 27.** EPS kullanılarak yüzeylere yapışmış olan çeşitli gıda toz partiküllerinin SEM görüntüleri (A-tuz, B-cam, C-kakao tozu, D-kırmızı biber tozu, E-nişasta, F-ksantan gam)

#### 4.10 Duyusal analiz

Şekil 28, kapalı plastik kaplarda oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra yağ ve EPS çözeltisi (damıtık suda % 40 konsantrasyonda) ile muamele edilmiş mısır cipsi örneklerinin duysal özelliklerini herhangi bir yağ ve EPS uygulanmamış cips örnekleri ile karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, cips örneğinin EPS çözeltisi ile kaplanması yağ ile kaplanın cips örneği ile karşılaştırıldığında 'genel görünüş', 'ağızda bıraktığı tat' ve 'renk' özelliklerine verilen puanları artırırken, 'şekerimsi tat' ve 'ağızda dağılma' özelliklerinde önemli farklılıklar ortaya çıkmamıştır. Panelistler, EPS ile kaplanan örnek için 'yabancı tat ve aroma' özelliğine 4'ün altında puan vermişler ve bu puan diğer örneklere verilen puanlar içerisinde en düşük olanı olarak görülmektedir. Bunun, EPS'nin yapısından kaynaklı tipik tadı ve lezzeti nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. EPS kaplanmış mısır cipslerinin genel kabulü (genel beğeni) özelliği, yağ kaplı cips örneklerinden biraz daha düşük olan ve düz olanlardan daha yüksek olacak şekilde 5'in hemen altında bir puan ile değerlendirilmiştir. Bu da, mısır cipsinin EPS ile kaplanmasının kabul edilebilirlik tercihi olumsuz yönde etkilemediğini göstermektedir.



Şekil 28. Duyusal analiz sonuçları

#### 4.11 Matematiksel hesaplamalar

Partiküller arası kapiler bağların oluşumunun, tozların mekanik özellikleri ve yüzeylere yapışma davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Düzgün küresel bir parçacık ile nano ölçekli pürüzlülüğü olan düz bir yüzey arasındaki kapiler adhezyon (yapışma) kuvvetinin hesaplanması için basitleştirilmiş bir eşitlik geliştirilmiştir (Rabinovich ve ark., 2002) ve bu çalışmada kullanılan tuz ve cam toz partikülleri ile kullanılan yüzey arasındaki toplam adhezyon kuvvetinin hesaplanması amacı ile bu eşitlik (26 no'lu eşitlik) kullanılmıştır.

$$F_{ad} = -4\pi\gamma R \cos\theta \left(1 - \frac{H_{asp}}{2r \cos\theta}\right) \quad (26)$$

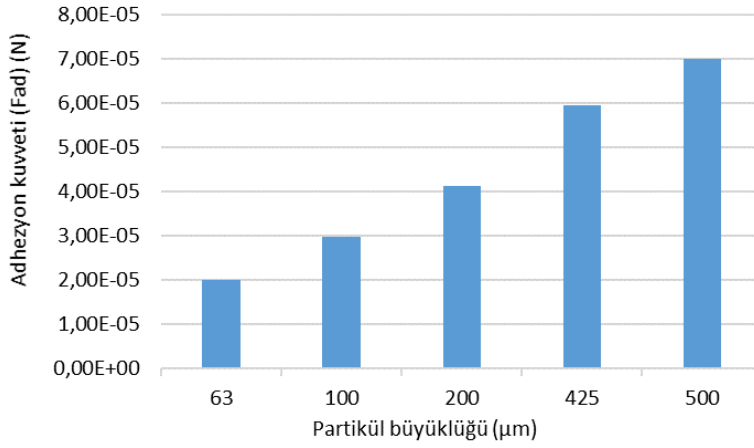
Burada  $\gamma$  ara yüzeydeki sıvının yüzey gerilimini,  $R$  partikül yarıçapını,  $r$  menisküs yarıçapını,  $\theta$  temas açısını,  $H_{asp}$  iki yüzey arasındaki adhezyonun gözlenmediği en kısa mesafeyi ifade etmektedir. Bu eşitliğin, menisküs yüksekliğinin ( $H_{asp}$ ) yapışan partikül ile yüzey arasında belirli bir mesafe oluşturacak yeterli büyüklükte olması ve menisküs yarıçapının ( $r$ ) yapışan partikül yarıçapına oranla daha küçük olduğu durumlarda kullanılabileceği belirtilmiştir.

Enggalhardjo ve Narsimhan (2005), tortilla cipsi yüzeyinde bitkisel yağ için temas açısını  $70^\circ$  olarak tespit etmişlerdir. EPS çözeltileri için temas açısının da bu değere yakın bir değer olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamada kullanılan parametreler Tablo 13'te verilmiştir. Bu parametreler çeşitli kaynaklardan (Enggalhardjo ve Narsimhan, 2005; Kuncheva ve ark., 2013) ve yapılan analizlerden elde edilmiştir.

**Tablo 13.** Adhezyon kuvveti hesaplamada kullanılan parametreler ve değerleri

Değişken ve Sabitler	Değer
$\gamma$	44 mNm <sup>-1</sup>
$\theta$	75 °C
$H_{asp}$	0.1 $\mu$ m
R	31.5 $\mu$ m 50.0 $\mu$ m 100.0 $\mu$ m 212.5 $\mu$ m 250.0 $\mu$ m
r	0.020 $\mu$ m

26 numaralı eşitlik kullanılarak yüzeye tutunan partiküllerin adhezyon kuvvetleri sayısal olarak hesaplanmış ve Şekil 29 'da verilmiştir.



**Şekil 29.** Partikül büyüklüğüne bağlı olarak etki eden adhezyon kuvveti değerleri

Yüzeyle kaplanmış partiküllere etki eden santrifüj merkezkaç kuvvetleri 1 no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanmış ve hesaplanan değerler Tablo 14'te verilmiştir.

**Tablo 14.** Tuz ve cam partiküllerine uygulanan santrifüj dönme hızına bağlı olarak etki eden merkez kaç kuvvetleri

Partikül büyüklüğü (µm)	Tuz partiküllerine etki eden santrifüj kuvveti (N)				Cam partiküllerine etki eden santrifüj kuvveti (N)			
	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm	4000 rpm	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm	4000 rpm
63	2,47E-10	9,86E-10	2,22E-09	3,95E-09	2,87E-10	1,15E-09	2,58E-09	4,59E-09
100	9,86E-10	3,94E-09	8,87E-09	1,58E-08	1,15E-09	4,59E-09	1,03E-08	1,83E-08
200	7,89E-09	3,16E-08	7,10E-08	1,26E-07	9,17E-09	3,67E-08	8,26E-08	1,47E-07
425	7,57E-08	3,03E-07	6,81E-07	1,21E-06	8,80E-08	3,52E-07	7,92E-07	1,41E-06
500	1,23E-07	4,93E-07	1,11E-06	1,97E-06	1,43E-07	5,73E-07	1,29E-06	2,29E-06

Şekil 29 ve Tablo 14'teki veriler incelendiğinde yüzeyle yapışmış olan partiküllere etki eden merkez kaç kuvvetlerinin (1,29E-06 ile 9,86E-10 N arasında değişen), adhezyon kuvvetleri (2,00E-05 ile 7,00E-05 N arasında değişen) ile karşılaştırıldığında daha küçük değerlere sahip oldukları görülmektedir. Bu da 4000 rpm'lik dönme hızının oluşturduğu merkez kaç kuvvetinin yüzeyle partikül koparmak için yeterli olmadığı, ancak yüzeyle partikül-partikül etkileşimine bağlı olarak ve aglomerasyon davranışına bağlı olarak partikül katmanlarından kopmaların gerçekleştiği yaklaşımını desteklemektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada doğal ortamlarında fermente edilmiş hamur ve yoğurt örneklerinden izole edilmiş altı farklı LAB türlerinden en fazla EPS üretiminin gerçekleştiği inkübasyon parametreleri (pH, süre, sıcaklık) belirlenerek üretilen EPS örneklerinin kimyasal, fiziko-kimyasal ve moleküler karakterizasyonu yapılmıştır. Daha sonra EPS örneklerinin seçilen bazı gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasında etkisi incelenmiştir.

Literatürde EPS'lerin yapışma özelliklerinden az da olsa bahsedilmektedir ve bu konuda yapılmış az sayıda çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada, LAB'lerden elde edilen EPS'lerin çeşitli gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışma davranış özelliklerini belirlemek için değişen konsantrasyonlarda (% 0,% 20 ve% 40) EPS çözeltileri kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, kullanılan EPS örneğinin fonksiyonel özellikte ve kalori değeri düşürülmüş atıştırmalık gıda ürünleri geliştirmede kullanıma potansiyeli olduğu kanısına varılmıştır. EPS, seçilen gıda tozlarının yapışmasını olumsuz yönde etkilerken tuz partikülleri için daha iyi yapışma göstermiştir.

Parçacık-yüzey arayüzünün yanı sıra partiküllerin arasındaki EPS yapılarının bağlanma ve katı köprü oluşumunu tanımlamak ve atıştırmalık gıda ürünleri yüzeylerinde EPS'nin yapışkanlık özelliklerini iyileştirmenin yollarını bulmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Ayrıca gıda tozu partiküllerinin EPS kullanıldığında yapışma davranışlarını daha iyi anlayabilmek ve karakterize edebilmek için Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) tekniği ile tek partikül ile çalışılabilir.

AFM tekniği ile elde edilen veriler matematiksel hesaplamalardan elde edilen veriler ile karşılaştırılarak deneysel sonuçlar ile matematiksel modellerin uyumu incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- Abid, Y., Casillo, A., Gharsallah, H., Joulak, I., Lanzetta, R., Corsaro, M. M., ... Azabou, S. 2017."Production and structural characterization of exopolysaccharides from newly isolated probiotic lactic acid bacteria".International Journal of Biological Macromolecules.
- Adamson, A. W. 1977."Physical Chemistry of Surfaces".Journal of The Electrochemical Society.
- Adesulu-Dahunsi, A. T., Sanni, A. I., ve Jeyaram, K. 2018."Production, characterization and In vitro antioxidant activities of exopolysaccharide from Weissella cibaria GA44".LWT - Food Science and Technology, 87, 432–442.
- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B., ve Truong, V. 2001."Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods".International Journal of ..., 4, 1–33. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/JFP-100002186>
- Adhikari, B., Howes, T., Shrestha, A., ve Bhandari, B. R. 2007."Effect of surface tension and viscosity on the surface stickiness of carbohydrate and protein solutions".Journal of Food Engineering, 79, 1136–1143.
- Ahluwalia, S. S., ve Goyal, D. 2005."Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution".Engineering in Life Sciences, 52, 158–162.
- Ai, L., Guo, Q., Ding, H., Guo, B., Chen, W., ve Cui, S. W. 2016."Structure characterization of exopolysaccharides from Lactobacillus casei LC2W from skim milk".Food Hydrocolloids, 56, 134–143.
- Arena, A., Maugeri, T. L., Pavone, B., Iannello, D., Gugliandolo, C., ve Bisignano, G. 2006."Antiviral and immunoregulatory effect of a novel exopolysaccharide from a marine thermotolerant Bacillus licheniformis".International Immunopharmacology, 61, 8–13.
- Armstrong, M. E., ve Barringer, S. A. 2013."Improving adhesion of seasonings to crackers with hydrocolloid solutions".Journal of Food Science, 7811, E1704-12.
- Axelsson, L. 2004."Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology".In A. Salminen, S., Wright, A.V. and Ouwehand Ed., *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects* 3rd Editio. New York: Marcel Dekker.
- Bajpai, V. K., Rather, I. A., Majumder, R., Shukla, S., Aeron, A., Kim, K., ... Park, Y. H. 2016."Exopolysaccharide and lactic acid bacteria: Perception, functionality and prospects".Bangladesh Journal of Pharmacology.

- Ben-Zion, O., ve Nussinovitch, A. 1997."Physical properties of hydrocolloid wet glues".*Food Hydrocolloids*, 114, 429–442.
- Bhatia, S. K., Kumar, N., ve Bhatia, R. K. 2015."Stepwise bioprocess for exopolysaccharide production using potato starch as carbon source".*3 Biotech*.
- Buck, V. E., ve Barringer, S. A. 2007."Factors dominating adhesion of NaCl onto potato chips".*Journal of Food Science*, 728.
- Castellane, T. C. L., Campanharo, J. C., Colnago, L. A., Coutinho, I. D., Lopes, É. M., Lemos, M. V. F., ve de Macedo Lemos, E. G. 2017."Characterization of new exopolysaccharide production by *Rhizobium tropici* during growth on hydrocarbon substrate".*International Journal of Biological Macromolecules*, 96, 361–369.
- Castellane, T. C. L., Lemos, M. V. F., ve Lemos, E. G. D. M. 2014."Evaluation of the biotechnological potential of *Rhizobium tropici* strains for exopolysaccharide production".*Carbohydrate Polymers*, 111, 191–197.
- Castellane, T. C. L., Otononi, A. M. M. B., ve Lemos, E. G. de M. 2015."Characterization of Exopolysaccharides Produced by *Rhizobia* Species".*Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 396, 1566–1575.
- Chen, T., Xu, P., Zong, S., Wang, Y., Su, N., ve Ye, M. 2017."Purification, structural features, antioxidant and moisture-preserving activities of an exopolysaccharide from *Lachnum YM262*".*Bioorganic ve Medicinal Chemistry Letters*, 275, 1225–1232.
- De Stefano, D., Tommonaro, G., Simeon, V., Poli, A., Nicolaus, B., ve Carnuccio, R. 2007."A polysaccharide from tomato *Lycopersicon esculentum* peels affects NF- $\kappa$ B activation in LPS-stimulated J774 macrophages".*Journal of Natural Products*, 7010, 1636–1639.
- De Vuyst, L. 1999."Heteropolysaccharides from lactic acid bacteria".*FEMS Microbiology Reviews*, 232, 153–177.
- Decker, E. M., Dietrich, I., Klein, C., ve Von Ohle, C. 2011."Dynamic production of soluble extracellular polysaccharides by *Streptococcus mutans*".*International Journal of Dentistry*.
- Derjaguin, B. V., Muller, V. M., ve Toporov, Y. P. 1975."Effect of contact deformations on the adhesion of particles".*Journal of Colloid And Interface Science*.
- Dertli, E., Colquhoun, I. J., Gunning, A. P., Bongaerts, R. J., Le Gall, G., Bonev, B. B., ... Narbad, A. 2013."Structure and biosynthesis of two exopolysaccharides produced by *Lactobacillus johnsonii* FI9785".*Journal of Biological Chemistry*, 28844, 31938–31951.

- Dertli, E., Mayer, M. J., ve Narbad, A. 2015."Impact of the exopolysaccharide layer on biofilms, adhesion and resistance to stress in *Lactobacillus johnsonii* F19785".*BMC Microbiology*, 151, 1–9.
- Di, W., Zhang, L., Wang, S., Yi, H., Han, X., ve Fan, R. 2017."Physicochemical characterization and antitumour activity of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus casei* SB27 from yak milk".*Carbohydrate Polymers*, 171, 307–315.
- Dilna, S. V., Surya, H., Aswathy, R. G., Varsha, K. K., Sakthikumar, D. N., Pandey, A., ve Nampoothiri, K. M. 2015."Characterization of an exopolysaccharide with potential health-benefit properties from a probiotic *Lactobacillus plantarum* RJF4".*LWT - Food Science and Technology*, 642, 1179–1186.
- Dopfer, D., Palzer, S., Heinrich, S., Fries, L., Antonyuk, S., Haider, C., ve Salman, A. D. 2013."Adhesion mechanisms between water soluble particles".*Powder Technology*, 238, 35–49.
- Duboc, P., ve Mollet, B. 2001."Applications of exopolysaccharides in the dairy industry".In *International Dairy Journal*.
- Enggalhardjo, M., ve Narsimhan, G. 2005."Adhesion of Dry Seasoning Particles onto Tortilla Chip".*Food Engineering and Physical Properties*, 703, E215–E222.
- Ermis, E., Farnish, R. J., Berry, R. J., ve Bradley, M. S. A. 2009a."Direct measurement of powder flavor adhesion onto crisp surface using a novel adhesion tester".*Particulate Science and Technology*, 274.
- Ermis, E., Farnish, R. J., Berry, R. J., ve Bradley, M. S. A. 2009b."Direct measurement of powder flavor adhesion onto crisp surface using a novel adhesion tester".*Particulate Science and Technology*, 274, 362–372.
- Ermis, E., Farnish, R. J., Berry, R. J., ve Bradley, M. S. A. 2011."Centrifugal tester versus a novel design to measure particle adhesion strength and investigation of effect of physical characteristics size, shape, density of food particles on food surfaces".*Journal of Food Engineering*, 1044, 518–524.
- Galle, S., ve Arendt, E. K. 2014."Exopolysaccharides from Sourdough Lactic Acid Bacteria".*Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- Goh, K. K. T., Haisman, R. D., ve Singh, H. 2005."Examination of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* using confocal laser scanning and scanning electron microscopy techniques".*Journal of Food Science*, 704.

- Goode, K. R., Bowen, J., Akhtar, N., Robbins, P. T., ve Fryer, P. J. 2013."The effect of temperature on adhesion forces between surfaces and model foods containing whey protein and sugar".*Journal of Food Engineering*, 1184, 371–379.
- Halim, F., ve Barringer, S. A. 2007."Electrostatic adhesion in food".*Journal of Electrostatics*, 653, 168–173.
- Hu, S., Kim, T. H., Park, J. G., ve Busnaina, a. a. 2010."Effect of Different Deposition Mediums on the Adhesion and Removal of Particles".*Journal of The Electrochemical Society*, 1576, H662–H665.
- Hussein, M. H., Abou-ElWaf, G. S., Shaaban-De, S. A., ve Hassan, N. I. 2015."Characterization and Antioxidant Activity of Exopolysaccharide Secreted by *Nostoc carneum*".*International Journal of Pharmacology*, 115, 432–439.
- Ismail, B., ve Nampoothiri, K. M. 2014."Molecular characterization of an exopolysaccharide from a probiotic *Lactobacillus plantarum* MTCC 9510 and its efficacy to improve the texture of starchy food".*Journal of Food Science and Technology*, 5112, 4012–4018.
- Johnson, K. L., ve Greenwood, J. A. 1997."An adhesion map for the contact of elastic spheres".*Journal of Colloid and Interface Science*.
- Jost Wingender, Thomas R. Neu, H.-C. F. 2013.*Microbial Extracellular Polymeric Substances*.*Journal of Chemical Information and Modeling* Vol. 53.
- Kanmani, P., Satish kumar, R., Yuvaraj, N., Paari, K. A., Pattukumar, V., ve Arul, V. 2011."Production and purification of a novel exopolysaccharide from lactic acid bacterium *Streptococcus phocae* PI80 and its functional characteristics activity in vitro".*Bioresource Technology*, 1027, 4827–4833.
- Kim, J. U., Kim, Y., Han, K. S., Oh, S., Whang, K. Y., Kim, J. N., ve Kim, S. H. 2006."Function of cell-bound and released exopolysaccharides produced by *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 9595".*Journal of Microbiology and Biotechnology*, 166, 939–945.
- Kiran, G. S., Priyadharshini, S., Anitha, K., Gnanamani, E., ve Selvin, J. 2015."Characterization of an exopolysaccharide from probiont *Enterobacter faecalis* MS112 and its effect on the disruption of *Candida albicans* biofilm".*RSC Advances*, 588, 71573–71585.
- Kitazawa, H., Yamaguchi, T., Miura, M., Saito, T., ve Itoh, T. 1993."B-cell mitogen produced by slime-forming, encapsulated *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* isolated from ropy sour milk, viili.". *Journal of Dairy Science*, 766, 1514–1519.

- Kuncheva, M., Panchev, I., Pavlova, K., Russinova-Videva, S., Georgieva, K., ve Dimitrova, S. 2013."Functional characteristics of an exopolysaccharide from Antarctic yeast strain *Cryptococcus laurentii* AL62".*Biotechnology and Biotechnological Equipment*.
- Lal, P., Sharma, D., Pruthi, P., ve Pruthi, V. 2010."Exopolysaccharide analysis of biofilm-forming *Candida albicans*".*Journal of Applied Microbiology*, 1091, 128–136.
- Lam, K. K., ve Newton, J. M. 1991."Investigation of applied compression on the adhesion of powders to a substrate surface".*Powder Technology*.
- Lawless, H. T., ve Heymann, H. 2010.*Sensory Evaluation of Food. Sensory evaluation of food - principles and practices*.
- Liang, T. W., ve Wang, S. L. 2015."Recent advances in exopolysaccharides from *Paenibacillus* spp.: Production, isolation, structure, and bioactivities".*Marine Drugs*.
- Likitwattanasade, T., ve Barringer, S. A. 2013."Separation of powder mixtures during electrostatic and nonelectrostatic coating".*Journal of Food Process Engineering*, 366, 731–738.
- Manca, M. C., Lama, L., Improta, R., Esposito, E., Gambacorta, A., ve Nicolaus, B. 1996."Chemical composition of two exopolysaccharides from *Bacillus thermoantarcticus*".*Applied and Environmental Microbiology*, 629, 3265–3269.
- Mancuso Nichols, C. A., Nairn, K. M., Glattauer, V., Blackburn, S. I., Ramshaw, J. A. M., ve Graham, L. D. 2009."Screening microalgal cultures in search of microbial exopolysaccharides with potential as adhesives".*Journal of Adhesion*, 852–3, 97–125.
- Mandal, S. K., Singh, R. P., ve Patel, V. 2011."Isolation and Characterization of Exopolysaccharide Secreted by a Toxic Dinoflagellate, *Amphidinium carterae* Hulbert 1957 and Its Probable Role in Harmful Algal Blooms HABs".*Microbial Ecology*, 623, 518–527.
- Mende, S., Rohm, H., ve Jaros, D. 2016."Influence of exopolysaccharides on the structure, texture, stability and sensory properties of yoghurt and related products".*International Dairy Journal*.
- Michalski, M. C., Desobry, S., ve Hardy, J. 1997."Food materials adhesion: A review".*Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 377, 591–619.
- Miller, M. J., ve Barringer, S. A. 2002."Effect of sodium chloride particle size and shape on nonelectrostatic and electrostatic coating of popcorn".*Journal of Food Science*, 671, 198–

201.

- Mittal, K. L., ve Demejo, A. 1995."Fundamental of adhesion and interfaces".VSP Press, 95–108.
- Moretto, C., Castellane, T. C. L., Lopes, E. M., Omori, W. P., Sacco, L. P., ve Lemos, E. G. de M. 2015."Chemical and rheological properties of exopolysaccharides produced by four isolates of rhizobia".International Journal of Biological Macromolecules, 81, 291–298.
- Omoike, A., ve Chorover, J. 2004."Spectroscopic study of extracellular polymeric substances from *Bacillus subtilis*: Aqueous chemistry and adsorption effects".Biomacromolecules, 54, 1219–1230.
- Otles, S. 2008."Modification of surface properties of biopowders by dry particle coating".Génie Des Procédés, 283.
- Pan, D., ve Mei, X. 2010."Antioxidant activity of an exopolysaccharide purified from *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 12".Carbohydrate Polymers, 803, 908–914.
- Papadakis, S. E., ve Bahu, R. E. 1992."The sticky issues of drying".Drying Technology, 104, 817–837.
- Patel, S., Majumder, A., ve Goyal, A. 2012."Potentials of Exopolysaccharides from Lactic Acid Bacteria".Indian Journal of Microbiology.
- Rabinovich, Y. I., Esayanur, M. S., Johanson, K. D., Adler, J. J., ve Moudgil, B. M. 2002."Measurement of oil-mediated particle adhesion to a silica substrate by atomic force microscopy".Journal of Adhesion Science and Technology, 167, 887–903.
- Rao, B. P., Sudharsan, K., G, R. C. H. S., ve Mandal, A. B. 2013."Characterization of Exopolysaccharide from *Bacillus amyloliquefaciens* BPRGS for its Bioflocculant Activity".International Journal of Scientific ve Engineering Research, 410, 1696–1704.
- Ribeiro, V. A., ve Burkert, C. A. V. 2016."Exopolysaccharides Produced by *Rhizobium* : Production , Composition and Rheological Properties".Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry, 41, 1–6.
- Ruas-Madiedo, P., ve de los Reyes-Gavilán, C. G. 2005."Invited Review: Methods for the Screening, Isolation, and Characterization of Exopolysaccharides Produced by Lactic Acid Bacteria".Journal of Dairy Science, 883, 843–856.
- Ruas-Madiedo, P., Hugenholtz, J., ve Zoon, P. 2002."An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria".In *International Dairy Journal*.

- Ryan, P. M., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., Caplice, N. M., ve Stanton, C. 2015."Sugar-coated: Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria for food and human health applications".*Food and Function*, 63, 679–693.
- Salazar-Banda, G. R., Felicetti, M. A., Gonçalves, J. A. S., Coury, J. R., ve Aguiar, M. L. 2007."Determination of the adhesion force between particles and a flat surface, using the centrifuge technique".*Powder Technology*, 1732, 107–117.
- Sanalibaba, P., ve Cakmak, G. A. 2016."Exopolysaccharides Production by Lactic Acid Bacteria".*Applied Microbiology: Open Access*, 22.
- Sardari, R. R. R., Kulcinskaja, E., Ron, E. Y. C., Björnsdóttir, S., Friessnson, Hlafur H., Hreggviðsson, G. Pli, ve Karlsson, E. N. 2017."Evaluation of the production of exopolysaccharides by two strains of the thermophilic bacterium *Rhodothermus marinus*".*Carbohydrate Polymers*, 156, 1–8.
- Schubert, H. 1987."Food particle technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems".*Journal of Food Engineering*, 61, 1–32.
- Seedevi, P., Moovendhan, M., Sudharsan, S., Sivasankar, P., Sivakumar, L., Vairamani, S., ve Shanmugam, A. 2018."Isolation and chemical characteristics of rhamnose enriched polysaccharide from *Grateloupia lithophila*".*Carbohydrate Polymers*.
- Shukla, N., ve Henthorn, K. H. 2009."Effect of relative particle size on large particle detachment from a microchannel".*Microfluidics and Nanofluidics*, 64, 521–527.
- Subudhi, S., Bisht, V., Batta, N., Pathak, M., Devi, A., ve Lal, B. 2016."Purification and characterization of exopolysaccharide bioflocculant produced by heavy metal resistant *Achromobacter xylosoxidans*".*Carbohydrate Polymers*, 137, 441–451.
- Suderman, D. R., ve Cunningham, F. E. 1981."Effect of Freezing Broiler Drumsticks on Breeding Adhesion".*Journal of Food Science*, 466, 1953–1953.
- Sumonsiri, N., ve Barringer, S. A. 2011."Effect of sodium chloride and food target properties on nonelectrostatic and electrostatic coating".*Journal of Electrostatics*, 696, 578–586.
- Surayot, U., Wang, J., Seesuriyachan, P., Kuntiya, A., Tabarsa, M., Lee, Y. J., ... You, S. G. 2014."Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Structural analysis, molecular weight effect on immunomodulation".*International Journal of Biological Macromolecules*.
- Sutherland, I. W. 1972."Bacterial Exopolysaccharides".*Advances in Microbial Physiology*, 8C, 143–213.

- Sutherland, I. W. 1982."Biosynthesis of Microbial Exopolysaccharides".*Advances in Microbial Physiology*, 23C, 79–150.
- Takeuchi, M. 2006."Adhesion forces of charged particles".In *Chemical Engineering Science* Vol. 61, pp. 2279–2289.
- Torino, M. I., Font de Valdez, G., ve Mozzi, F. 2015."Biopolymers from lactic acid bacteria. Novel applications in foods and beverages".*Frontiers in Microbiology*.
- Vahdat, A. S., Azizi, S., ve Cetinkaya, C. 2013."Nonlinear dynamics of adhesive microspherical particles on vibrating substrates".*Journal of Adhesion Science and Technology*, 2715, 1712–1726.
- Van Calsteren, M.-R., Pau-Roblot, C., Bégin, A., ve Roy, D. 2002."Structure determination of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus rhamnosus* strains RW-9595M and R.".The *Biochemical Journal*, 363Pt 1, 7–17.
- Vaningelgem, F., Zamfir, M., Mozzi, F., Adriany, T., Vancanneyt, M., Swings, J., ve De Vuyst, L. 2004."Biodiversity of Exopolysaccharides Produced by *Streptococcus thermophilus* Strains Is Reflected in Their Production and Their Molecular and Functional Characteristics".*Applied and Environmental Microbiology*.
- Vijayendra, S. V. N., Palanivel, G., Mahadevamma, S., ve Tharanathan, R. N. 2008."Physico-chemical characterization of an exopolysaccharide produced by a non-ropy strain of *Leuconostoc* sp. CFR 2181 isolated from dahi, an Indian traditional lactic fermented milk product".*Carbohydrate Polymers*, 722, 300–307.
- Vijayendra, S. V. N., Palanivel, G., Mahadevamma, S., ve Tharanathan, R. N. 2009."Physico-chemical characterization of a new heteropolysaccharide produced by a native isolate of heterofermentative *Lactobacillus* sp. CFR-2182".*Archives of Microbiology*, 1914, 303–310.
- Vu, B., Chen, M., Crawford, R. J., ve Ivanova, E. P. 2009."Bacterial extracellular polysaccharides involved in biofilm formation".*Molecules*.
- Zhang, Z., Liu, Z., Tao, X., ve Wei, H. 2016."Characterization and sulfated modification of an exopolysaccharide from *Lactobacillus plantarum* ZDY2013 and its biological activities".*Carbohydrate Polymers*, 153, 25–33.
- Zhou, K., Zeng, Y., Yang, M., Chen, S., He, L., Ao, X., ... Liu, S. 2016."Production, purification and structural study of an exopolysaccharide from *Lactobacillus plantarum* BC-25".*Carbohydrate Polymers*, 144, 205–214.



Zimon, A. D. 1982. *Adhesion of Dust and Powder*. Boston, MA: Springer US.



## EKLER

<b>Duyusal Test Formu</b>										
Lütfen sunulan ürünlerin tadımını yaptıktan sonra verilen kriterleri 1'den den 10'a kadar puanlayınız. (10-fevkalade, 9-mükemmel, 8-çok iyi, 7-oldukça iyi, 6-iyi, 5-orta, 4-ortanın altı kötünün üstü, 3-kötü, 2-çok kötü, 1-aşırı kötü)										
Teşekkürler.										
<b>X5A3</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Renk										
Ağızda bıraktığı tat										
Şekerimsi tat										
Ağızda dağılma										
Yabancı tat ve aroma										
Genel görünüş										
Genel beğeni										
<b>6RT4</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Renk										
Ağızda bıraktığı tat										
Şekerimsi tat										
Ağızda dağılma										
Yabancı tat ve aroma										
Genel görünüş										
Genel beğeni										
<b>8B6T</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Renk										
Ağızda bıraktığı tat										
Şekerimsi tat										
Ağızda dağılma										
Yabancı tat ve aroma										
Genel görünüş										
Genel beğeni										

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Dr. Öğr. Üyesi ERTAN ERMIŞ
Proje No:	2150307
Proje Başlığı:	Optimum Koşullarda Üretilen Ekzopolisakkaritlerin (EPS) Gıda Tozlarının Gıda Yüzeylerine Yapışmasında Arayüz Olarak Kullanılabilirliklerinin Belirlenmesi
Proje Türü:	3501 - Kariyer
Proje Süresi:	22
Araştırmacılar:	MUSTAFA TAHSİN YILMAZ
Danışmanlar:	ENES DERTLİ
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM Ü. MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ F. GIDA MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/05/2016 - 01/10/2018
Onaylanan Bütçe:	193880.0
Harcanan Bütçe:	143048.66
Öz:	<p>Bazı mikroorganizmalar ve özellikle de laktik asit bakterisi (LAB) türleri buldukları ortamda hücre dışına ekzopolisakkaritler (EPS) gibi polimerik maddeler salgırlar. Bu maddeler, gıda maddelerinin yapısını düzelteren özellikte ve teknolojik yönden faydalı olmalarının yanında insan sağlığı üzerine de birçok faydalı etkiler gösterebilmektedirler. EPS?ler buldukları gıda ürünlerinin reolojik ve tekstürel özelliklerinde olumlu değışimlere neden olurlar. Nitekim bakteriyel kaynaklı polisakkaritler saflaştırılarak bazı gıdalarda kullanılabilirler. Bunun yanında özellikle son yıllarda EPS üreten mikroorganizmaların doğrudan gıda üretiminde kullanılması söz konusudur. Bu nedenle EPS üreten mikroorganizmalar gıda endüstrisinde ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedirler. Bu sebeple EPS üreten kültürler üzerinde ilgi son yıllarda artmaktadır.</p> <p>EPS üreten bakteri kültürlerinin temin edilerek, bu mikroorganizmaların uygun şartlarda çoğaltılması ile sentezlenecek EPSlerin elde edilmesi işlemi sonrasında gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışmasına etkileri detaylı olarak incelenmesi ile bu özelliğın önemli olduğu gıdaların (özellikle çeşitli gıda aroma tozları ile kaplanmış atıştırmalık gıdalar (snack foods)) kalitesinin geliştirilmesine, üretimde ve sonrasında ortaya çıkan aroma tozu kayıplarının azaltılmasına, yapışma arayüzü olarak sıvı yağ kullanımının azaltılmasına ve dolayısıyla gıda maddesinin kalori değerinin düşürülmesine büyük katkı sağlayacağı, gıda sanayisine ise büyük katma değer oluşturacağı düşünülmektedir.</p> <p>Sunulan bu projede 2 temel aşamanın gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. İlk aşamada, önceden EPS ürettiği tespit edilen 5 farklı LAB türünden farklı inkübasyon sıcaklıkları ve süreleri uygulanarak EPS üretilmektedir ve maksimum EPS üretiminin gerçekleşeceği optimum noktalar Response Surface Metodu (Cevap Yüzey Yöntemi) kullanılarak ortaya çıkarılacaktır. Daha sonra bu EPS?ler izole edilecek ve kimyasal yapıları, moleküler büyüklükleri ve elektriksel yük gibi fonksiyonel karakteristikleri tespit edilecektir. İkinci aşamada ise, bu şekilde üretilen farklı kimyasal özellikteki EPS?lerin çözeltileri hazırlanarak farklı şekil ve büyüklükteki gıda toz maddelerinin, farklı gıda yüzeylerinde yapışma düzeyleri üzerine etkileri detaylı bir şekilde ortaya konulmaya çalışılacaktır.</p> <p>Bugüne kadar yapılan çalışmalarda mikroorganizmaların ürettiği EPS?lerin gıdaların çeşitli kimyasal ve organoleptik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Ancak, EPS?lerin gıda tozlarının gıda yüzeylerine yapışma düzeyi üzerine etkilerinin detaylı olarak incelendiği ve sonuçların ortaya konulduğu herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle sunulan bu projede, EPS üretme yeteneğindeki LAB suşları ile üretilen EPS kütlesinin söz konusu yüzeylere yapışma (adhesion) analizleri ile yapışkanlık özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmekte, bu özelliklerin detaylı ve hassas bir şekilde ortaya konulması amaçlanmaktadır. Böylece, sunulan bu proje kapsamındaki yapılacak çalışmalar ile hem literatürdeki bilgi boşluğunun doldurulması, hem de istenen nitelikte ürün geliştirme açısından gıda endüstrisine büyük girdiler sağlanması hedeflenmektedir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Ekzopolisakkaritler, Laktik Asit Bakterileri, Gıda Yüzeyine Yapışma, Gıda Tozları
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Evet

Projeden Yapılan Yayınlar:	<p>1- Determination of the effect of exopolysaccharide (EPS) from Lactobacillusbrevis E25 on adhesion of food powders on the surfaces, using the centrifuge technique (Makale - İndeksli Makale),</p> <p>2- Influence Of Exopolysaccharide (Eps) Derived From A Local Isolate (Lactobacillus brevis E25) on the Adhesion of Salt Powders to Corn Chips (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>3- Optimization of exopolysaccharide production of six LAB strains isolated from yogurt and sourdough using RSM (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>4- Characterisation of exopolysaccharides derived from selected bacterial strains isolated from yogurt and sourdough (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>5- Bir Santrifüj Tüpü (Patent - Ulusal - Başvuru),</p> <p>6- 4. Uluslararası Gıda Ar-ge Proje Pazarı (Yayımlı - Uluslararası - Proje Pazarına Katılım),</p>
----------------------------	--

TÜBİTAK