

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRODÖNDÜRME YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN JELATİN
NANOLİFLERİNİN EMÜLSİYONLARDA STABİLİZE EDİCİ OLARAK
KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nagihan OKUTAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRODÖNDÜRME YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN JELATİN
NANOLİFLERİNİN EMÜLSİYONLARDA STABİLİZE EDİCİ OLARAK
KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nagihan OKUTAN
(506091541)**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Filiz ALTAY

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506091541 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Nagihan OKUTAN** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ELEKTRODÖNDÜRME YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN JELATİN NANOLİFLERİNİN EMÜLSİYONLARDA STABİLİZE EDİCİ OLARAK KULLANILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Adı SOYADI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Meral KILIÇ AKYILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Melek M. EROL TAYGUN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2013
Savunma Tarihi : 06 Haziran 2013

Aileme,

ÖNSÖZ

Nano boyutta maddelerin bilinen özelliklerinin farklılaşmasını temel alan nanoteknoloji birçok alanda hassas, kesin ve günlük hayatta uygulanabilir sonuçlar vermiştir. Günümüzde çığır açan bir teknoloji olarak görülen nanoteknolojinin diğer alanlardaki uygulamalarıyla karşılaştırıldığında gıdalarda uygulamalarının nispeten az olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni nano boyuttaki biyomateryaller hakkında bilgilerin ve uygulamaların yeterli düzeyde olmamasıdır. Bu çalışma ile gıda alanında nanoteknoloji uygulamalarına katkıda bulunmak hedeflenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda TÜBİTAK 111O556 No'lu projesinin bir bölümünü teşkil etmektedir.

Tez süresince hem literatür hem de deneysel çalışmalarımda yardımını ve desteğini benden esirgemeyen, değerli fikirleriyle bana yol gösteren kıymetli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Filiz ALTAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Gerektiğinde laboratuvarlarında çalışmama izin veren Prof. Dr. Meral KILIÇ AKYILMAZ' a ve Doç. Dr. Gürbüz GÜNEŞ' e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini benden esirgemeyen anneme, babama ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2013

Nagihan OKUTAN
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. NANOTEKNOLOJİ	3
3. NANOLİF ÜRETİM TEKNİKLERİ	5
3.1 Eriyikten Nanolif Eldesi (Meltblowing ve Spunbond Yöntemleri)	5
3.2 Fibrilasyon Tekniği İle Nanolif Üretimi	6
3.3 Çift Bileşenli (Bikomponent) Liflerden Nanolif Üretimi	6
4. ELEKTRODÖNDÜRME YÖNTEMİ İLE NANOLİF ÜRETİMİ	7
4.1 Elektrodöndürme Yönteminin Tarihçesi	7
4.2 Elektrodöndürme Yönteminde Etkili Kuvvetler ve İşlemin Uygulanışı.....	10
4.3 Elektrodöndürme Yönteminde Etkili Parametreler.....	12
4.3.1 Polimer çözeltisine ait etkenler	12
4.3.1.1 Konsantrasyon etkisi	12
4.3.1.2 Çözücü özellikleri	12
4.3.1.3 Çözelti iletkenliği	14
4.3.1.4 Yüzey gerilimi.....	14
4.3.1.5 Dielektrik sabiti.....	15
4.3.2 İşlem parametreleri	15
4.3.2.1 Uygulanan voltaj	15
4.3.2.2 Besleme ucu ve besleme borusuna ait özellikler.....	16
4.3.2.3 Besleme ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe	17
4.3.2.4 Toplayıcı plakaya ait özellikler	17
4.3.2.5 Besleme Debisi.....	18
4.3.3 Çevresel etkenler	18
5. GIDALARDA NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI	19
5.1 Nanoliflerin Gıda Alanındaki Uygulamaları	21
6. EMÜLSİYONLAR.....	27
6.1 Emülsifikasyon.....	29
6.2 Emülsiyonların Karakterizasyonu	30
6.2.1 Zeta potansiyeli	30
6.2.2 Damlacık boyutu ve dağılımı	31
6.2.3 Türbidite.....	32
6.2.4 Yüzey gerilimi.....	32
6.2.5 Reolojik özellikler	32

6.2.6 Kremleşme indeksi	34
6.3 Hipotez	35
7. MATERYAL ve METOD.....	37
7.1 Materyal.....	37
7.2 Metod.....	37
7.2.1 Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltilerin hazırlanması	37
7.2.2 Çözeltilerin elektriksel iletkenliklerinin ölçümü.....	38
7.2.3 Çözeltilerin yüzey gerilimlerinin ölçümü	38
7.2.4 Çözeltilerin reolojik karakterizasyonu	38
7.2.5 Elektrodöndürme cihazı	39
7.2.6 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	39
7.2.7 Nanoliflerin difüzyon katsayısı ölçümleri	39
7.2.8 Emülsifikasyon.....	40
7.2.9 Nanoliflerin ve emülsiyonların zeta potansiyelerinin ölçümü	40
7.2.10 Emülsiyonlarda damlacık boyutlarının ölçülmesi.....	41
7.2.11 Emülsiyonların absorbans ölçümleri ve türbidite hesaplamaları	41
7.2.12 Emülsiyonların yüzey gerilimi ölçümleri.....	42
7.2.13 Emülsiyonların reolojik karakterizasyonu	42
7.2.14 Emülsiyonlarda serum ayrışmaları ve kremleşme indeksleri.....	42
8. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	43
8.1 Elektrodöndürme Yöntemi İle Nanolif Üretimi	43
8.2 Jelatin Çözeltilerinin Özellikleri.....	44
8.3 Jelatin Nanoliflerinin SEM Karakterizasyonu.....	45
8.4 Jelatin ve Jelatin Nanolifi İçeren Dispersiyonların Zeta potansiyelleri ve Difüzyon Katsayıları	50
8.5 Emülsiyonların Zeta Potansiyeli Ölçümleri	51
8.6 Emülsiyonların Damlacık Boyutları.....	52
8.7 Emülsiyonların Absorbans Ölçümleri ve Türbidite Hesaplamaları	56
8.8 Emülsiyonların Yüzey Gerilimleri	57
8.9 Emülsiyonların Reolojik Özellikleri.....	58
8.10 Emülsiyonlarda Serum Ayrışmaları ve Kremleşme İndeksleri	59
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	139

KISALTMALAR

A	: Absorbans
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy)
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
Kİ	: Kremleşme İndeksi
kV	: Kilovolt
m	: Metre
mg	: Miligram
mN	: Milinewton
mS	: Milisiemens
mV	: Milivolt
nm	: Nanometre
s	: Saat
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
S/Y	: Yağ İçinde Su Emülsiyonu
T	: Türbidite
TEM	: Aktarımlı Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscopy)
Y/S	: Su İçinde Yağ Emülsiyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Doğal polimerlerden elde edilen nanolifler.....	22
Çizelge 7.1 : Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltiler.....	37
Çizelge 7.2 : SEM karakterizasyonu yapılan örnekler.	40
Çizelge 7.3 : Üretilen Y/S emülsiyonları.....	41
Çizelge 8.1 : Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltilerin özellikleri.....	43
Çizelge 8.2 : Jelatin çözeltilerinin K ve n değerleri.....	45
Çizelge 8.3 : Jelatinin ve elektrodöndürme yöntemiyle elde edilen örneklerin zeta potansiyelleri ve difüzyon katsayıları.....	50
Çizelge 8.4 : Y/S emülsiyonlarında zeta potansiyelleri (mV).	51
Çizelge 8.5 : %0,5 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları (1. gün ölçümleri).....	53
Çizelge 8.6 : %0,75 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları (1. gün ölçümleri).....	54
Çizelge 8.7 : % 1 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları (1. gün ölçümleri).....	55
Çizelge 8.8 : Emülsiyonların absorban değerleri (600 nm).	56
Çizelge 8.9 : Emülsiyonların hesaplanan türbidite değerleri.	56
Çizelge 8.10 : Emülsiyonların yüzey gerilimleri.	58
Çizelge 8.11 : Emülsiyonların K ve n değerleri.	58
Çizelge 8.12 : Emülsiyonlarda serum ayırışmaları ve kremleşme indeksleri.	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Elektrodöndürme tekniğinin şematik gösterimi..	10
Şekil 8.1 : Örnek A'nın SEM görüntüsü..	45
Şekil 8.2 : Örnek B'nin SEM görüntüsü.....	46
Şekil 8.3 : Örnek C'nin SEM görüntüsü.....	46
Şekil 8.4 : Örnek D'nin SEM görüntüsü..	46
Şekil 8.5 : Örnek E'nin SEM görüntüsü.....	47
Şekil 8.6 : Örnek F'nin SEM görüntüsü..	48
Şekil 8.7 : Örnek G'nin SEM görüntüsü..	48
Şekil 8.8 : Örnek H'nin SEM görüntüsü..	48
Şekil 8.9 : Örnek I'nın SEM görüntüsü..	49

ELEKTRODÖNDÜRME YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN JELATİN NANOLİFLERİNİN EMÜLSİYONLARDA STABİLİZE EDİCİ OLARAK KULLANILMASI

ÖZET

Nanoteknoloji, maddenin atom seviyesinde daha gelişmiş materyaller, araçlar ve sistemler geliştirilmesi amacıyla işlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Yeni üretim işlemlerine dayalı olması, daha iyi ve daha yüksek standartlarda ürünlerin üretilmesine olanak sağlaması nedeniyle nanoteknoloji günümüzün rağbet gören teknolojilerinden biridir. Diğer akademik alanlardan farklı olarak nanoteknoloji tek bir disipline ait değildir. Nanoteknoloji bilimi ve bunun uygulamalarında kimya, fizik, biyoloji, malzeme bilimi ve çeşitli mühendislik dalları yer almaktadır. Bu da bugüne kadar etkileşim içinde olmayan birçok bilim adamını yanyana getirmektedir. Atomik seviyede tasarlama yetisi klasik bilimleri ayıran sınırları bulanıklaştırarak, yepyeni disiplinler doğurmakta ve dünyada standartlaşmış işlem prosedürlerini derinden etkilemektedir. Gıda sanayinin nanoteknolojiden yararlanma potansiyeli yüksek olmasına rağmen kullanımı çok sınırlı ölçülerdedir. Yine de özellikle son iki yıl içinde dünya gıda sanayi bu teknolojinin üstünlüklerinden yararlanma yollarının arayışı içine girmiştir. Bazı firmalar nanoteknolojik araştırma programlarını desteklemekte ve gelecek 10 yıl içerisinde kullanmayı amaçlamaktadır. Günümüzde tüketiciler tarafından talep edilen gıda kavramı değişmekte ve buna bağlı olarak üreticiler tüketicilerin gereksinim ve istekleri doğrultusunda değişebilen interaktif gıda fikirleri üzerinde çalışmaktadır. Buna ilaveten nanoteknolojinin gıdalarda değişik amaçlarla uygulanması çalışmalarıyla ilgili yayınlar gün geçtikçe artmaktadır.

Nanoteknolojik uygulamalarda kullanılan nanoyapılar nanokapsüller, nanotüpler ve nanolifler olmak üzere temelde üç gruba ayrılmaktadır. Nanolifler çapları bir mikronun altında olan yapılardır. Başta elektrodöndürme yöntemi olmak üzere çeşitli tekniklerle üretilmektedirler. Elektrodöndürme yöntemi ile üretilen nanolifler tekstil, tarım, tıp ve ilaç uygulamaları, uzay uygulamaları, savunma endüstrisi, hava ve su filtrasyon uygulamaları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde nanolifler özellikle ambalaj ve sensör uygulamalarında çalışılmıştır. Toksikolojik durumları ve bu konudaki yasal düzenlemelerin azlığı veya bazı ülkelerde yokluğu nedeniyle sadece nanoliflerin değil nanoyapıların gıdaya ilaveleri henüz yaygınlaşmamıştır.

Emülsiyonlar karışmayan iki sıvının (genellikle su ve yağ) birbiri içinde damlacıklar halinde dağıldığı sistemlerdir. Basit olarak su içinde yağ (Y/S) ve yağ içinde su (S/Y) olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Y/S emülsiyonlarında sürekli faz su dağılan faz yağdır. Bu tip emülsiyonlara süt, mayonez ve salata sosları örnek olarak verilebilir. S/Y içinde su emülsiyonlarında ise sürekli faz yağ iken dağılan faz sudur. Bu tip emülsiyonlara örnek olarak margarin ve tereyağı gösterilebilir. Birçok gıda emülsiyonunda dağılan faza ait damlacık çapı 0,1 ve 100 µm arasında değişmektedir. Emülsiyonlar termodinamik olarak stabil olmayan sistemlerdir. Dağılan fazın sürekli

faz içerisinde kinetik olarak anlamlı bir süre boyunca stabil kalabilmesi için emülsifiye edici veya kıvam artırıcı maddelere ihtiyaç vardır. Emülsifiye ediciler dağılan fazın çeperlerine adsorbe olarak emülsiyonu stabil hale getiren amfifilik (hem hidrofilik hem de hidrofobik kısma sahip) bileşenlerdir. Adsorbe olan bileşen sayesinde damlacıkların etrafında bir çeper oluşmakta ve bu çeper damlacıkların bir araya gelmesini engellemektedir. Gıda endüstrisinde emülsiyon stabilitesini sağlama ve artırma için yeni tekniklerin ve/veya malzemelerin denenmesi çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada öncelikle doğal polimerlerden elektrodöndürme tekniği ile nanolif elde edilmeye çalışılmıştır. Denenen polimerler içinde sadece jelatin ile tek başına nanolif elde edilebilmiştir. Jelatin ile elde edilen nanoliflerde farklı elektrodöndürme koşullarının nanolif morfolojisine etkisi incelenmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri sonucunda en ince nanolif çapına 28 kV, 0,1 ml/s debi, 10 cm plaka mesafesinin uygulandığı elektrodöndürme şartlarında ulaşıldığı görülmüştür. Daha sonra 18 kV, 1ml/s debi, 10 cm plaka mesafesi koşullarında üretilen nanolifler biriktirilerek emülsiyonların stabilizasyonunda kullanılmıştır. Jelatin nanolifleri farklı konsantrasyonlarda Y/S emülsiyonlarına ilave edilerek, emülsiyon stabiliteyi zeta potansiyeli, damlacık boyutu ve dağılımı, türbidite, yüzey gerilimi, reoloji ve kreleşme indeksi bakımından değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçları Y/S emülsiyonuna jelatin ilave edilmesi durumunda alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Jelatin nanolifleri ile stabilize edilen emülsiyonlarda jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlara göre ortalama damlacık boyutlarının ve türbidite değerlerinin daha küçük olduğu, yüzey gerilimlerinin ve reolojik karakterizasyonda n değerlerinin daha yüksek olduğu, 15 gün boyunca 4° C'de ise kreleşme indekslerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu karşılaştırmalar sonucunda Y/S emülsiyonlarına jelatin nanolifleri ilavesinin, jelatin ilavesine göre daha stabil emülsiyonlar oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

USING ELECTROSPUN GELATIN NANOFIBERS AS STABILIZERS IN EMULSIONS

SUMMARY

Nanotechnology defined as the process for development of advanced materials, tools and systems. Nanotechnology which has taken as basis of having different properties at nanoscale has resulted sensitive, precise and applicable in daily life outcomes. Comparing to other areas, applications of nanotechnology in foods has been limited. Nanotechnology applications located in the centre of various engineering branches, it also brings many scientists together doesn't interact so far. The ability to design at atomic level nanotechnology creating a new world and deeply affects standardized operating procedures. Their applications to the agriculture and food sector are relatively recent compared with their use in other areas. Nevertheless, in the last two years, the world has entered into the search for ways to take advantage of this technology in the food industry. Some companies support nanotechnology research programs and intends to use in the next 10 years. Nowadays, the concept of food demanded by consumers is changing and food manufacturers are working on new interactive food ideas. In addition, publications about food nanotechnology are increasing every day.

Nanostructures used in nanotechnology applications divided into three groups including nanoparticles, nanotubes and nanofibers. Nanofibers are defined as fibers with diameters on the order of 100 nanometers. Nanofibers especially organic nanofibers constitute a particularly interesting and versatile class of one dimensional nanomaterial. Several techniques unrelated to electrospinning were reported in early literature for the laboratory preparation of nanofibers. Electrospinning is easier and more economical method comparing to other methods for obtaining nanomaterials and used in textile, agriculture, medical and pharmaceutical applications, aerospace applications, defense industry, air and water filtration applications. The first documented accounts of electrostatic spinning of a polymer solution into nanofibers were described in 1902 by J.F. Cooley and by W.J. Morton. Anton Formhals patented an improved version of electrospinning process and apparatus. His first patents on electrospinning of cellulose acetate from acetone used a fiber collection system that could be moved allowing some degree of fiber orientation during spinning. Taylor's contribution in the 1960s towards the fundamental understanding of the behaviour of the droplets placed in an electric field helped further develop the technique. The minimum equipment requirements for demonstration of simple electrospinning in the laboratory are; a viscous polymer solution or a melt, an electrode that is maintained in contact with the polymer solution, a high-voltage DC generator connected to the electrode and a grounded or oppositely charged surface to collect nanofibers.

An emulsion consist of two immiscible liquids with one of the liquids dispersed as small spherical droplets in the other. In most foods the diameters of the droplets usually between 0.1 and 100 μm . Emulsions can be classified according to the

distribution of the oil and aqueous phases. A system which consist of oil droplets dispersed in aqueous phase is called oil-in-water or O/W emulsions. A system which consist of water droplets dispersed in oil phase is called water-in-oil or W/O emulsions. Emulsions are thermodynamically unstable systems. It is possible to form emulsions that are kinetically stable for a reasonable period of time by substances known as emulsifiers. Biopolymers that have significant amount of both polar and non-polar groups tend to be surface active. Biopolymers such as proteins and polysaccharides prevent destabilization by combined mechanisms. They decrease interfacial tension, adsorb and form physical barrier between droplets, changes the viscosity of continuous phase, and induce static or electrostatic interactions. Gelatin is a relatively high molecular weight protein derived from animal collagen. Gelatin is slightly surface active and can act as an emulsifier in oil-in-water emulsions. Characterization of emulsion properties is important for designing and manufacturing foods with improved properties. Zeta potential, average droplet size and droplet size distribution, turbidity, surface tension, rheological characteristics, and creaming index are some of the important parameters of emulsions.

In this study we investigate using gelatin nanofibers obtained by electrospinning technique for the stabilization of O/W emulsions. First we investigated the process factors affecting the morphology and diameter of gelatin nanofibers.

The electrical conductivity of gelatin solutions increased with gelatin concentration. In contrast electrical conductivity results, surface tensions decreased with gelatin concentration. The decrease in surface tension from 36.24 mN/m to 34.91 mN/m. In our study, at low concentration of 7%, we were unable to obtain nanofibers low concentration with insufficient entanglements and high surface tension. Instead, the mixtures of drops and some fibrous structures were seen. and this is due to the viscosity of the solution being too low to generate continuous fibers. When the applied voltage increased from 28 to 35 kV, the fibrous structure formations started at feed rate of 1 mL/h. At lower feed rate (0.1 mL/h) the same fibrous structure formations occurred for sample 4 when the applied voltage increased from 28 to 35 kV. At the same applied voltage when the feed rate decreased from 1 to 0.1 mL/h, the drops became fibrous structures with bead. In addition, due to appearance of increasing fibrous structure the diameters of fibers were determined as in between ~ 23-26 nm. These results suggested that as the applied voltage increases and the feed rate decreases, electrospun samples can be produced with more fibrous structure, instead of drops at sufficient polymer concentration. SEM images of electrospun gelatin nanofibers from solution at 20% (w/v) were showed that when gelatin concentration increased from 7% to 20% (w/v), we were able to obtain nanofiber formations under all electrospinning process conditions, meaning the amount of gelatin in the solution at 20% was enough to form nanofibers. When the applied voltage increased from 28 to 35 kV the diameters of nanofibers had a tendency to increase from 46-55 nm to 47-62 nm. It should also be noted that nanofibers became less branching, without bead and more homogenous as applied voltage increased. At lower feed rate (0.1 mL/h) similar results were obtained. When the applied voltage increased from 28 to 35 kV bead formation disappeared and more homogenous fiber formation occurred. The range of diameters increased from 45-49 nm to a wider range of 50-88 nm. When the feed rate decreased from 1 to 0.1 mL/h at 28 kV, the few beads appeared, the range of diameters slightly decreased from 46-55 nm to 45-49 nm. At higher applied voltage

(35 kV) as the feed rate decreased from 1 to 0.1 mL/h, the range of diameters increased from 47-62 to 50-88 nm.

It appears that electrospinning changed the zeta potentials from negative to positive for all samples. The zeta potential values of nanofibers obtained at 28 kV were higher than electrospun samples obtained at 35 kV. As applied voltage decreased from 35 kV to 28 kV, the zeta potential values of nanofibers increased. The zeta potential values of nanofibers decreased with the feed rate at any given applied voltage. For keeping a suspension in a stable or in a dispersed state the zeta potential values should be above +25 mV or below -25 mV. Accordingly the closer value to the +25 mV belonged to the sample obtained from 28 kV and 0.1 ml/h feed rate, meaning these nanofibers may suspend in a dispersed state longer comparing to the other nanofiber samples.

In case of diffusion coefficient, electrospun gelatin samples higher diffusivities than gelatin powder meaning electrospinning may increase the ability of samples to diffuse comparing to gelatin powder. The diffusion coefficient values of nanofiber samples decreased with the increasing concentration of nanofibers in ethanol. Accordingly, higher diffusion coefficient means higher mobility of the polymer in the suspension. We determined that the sample obtained from 28 kV and 0.1 ml/h feed rate, had the highest diffusion coefficient ($1.19 \mu\text{m}^2/\text{s}$), and probably the highest mobility comparing to the other electrospun samples. Furthermore, the diffusion coefficient values of nanofiber samples decreased as the applied voltage increased at any given concentration and feed rate. The gelatin-acetic acid solution at 7% (w/v) did not produce nanofibers but we were able to obtain gelatin nanofibers under all electrospinning process conditions with 20% (w/v) gelatin-acetic acid solutions. When the applied voltage increased from 28 to 35 kV the diameters of gelatin nanofibers had a tendency to increase when the other process parameters were constant.

We stabilized O/W emulsions by adding gelatin nanofibers obtained from 18 kV and 1 ml/h feed rate, at different concentrations. The stability of O/W emulsions determined by zeta potential, droplet size and distribution, turbidity, surface tension and rheological measurements. Measurement results of O/W emulsions compared with the results of gelatin stabilized emulsions.

The zeta potential of 0.5% (w/w) gelatin stabilized O/W emulsion (-10.1 mV) is lower than 0.5% (w/w) gelatin nanofiber stabilized O/W emulsion. At 0.75% (w/w) concentrations gelatin stabilized emulsion (-14.3 mV) has higher zeta potential than gelatin nanofiber stabilized emulsion (-10.7 mV). Zeta potential of 1% (w/w) gelatin stabilized emulsion (-1.7 mV) is lower than 1% (w/w) gelatin nanofiber stabilized emulsion (-14 mV). According to these results we suggested that changes in zeta potentials are independent from gelatin type and concentrations.

In general at the same concentrations emulsions stabilized gelatin nanofibers produced smaller average droplet sizes and narrower droplet size distributions. Average droplet diameters of 0.5% gelatin stabilized emulsion is 762.6 nm, 0.5% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 552.1 nm; 0.75% gelatin stabilized emulsion is 506.3 nm, 0.75% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 411 nm; 1% gelatin stabilized emulsion is 560.5 nm, and 1% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 498.3 nm.

Turbidity of 0.5% gelatin stabilized emulsion is 55876.54 m^{-1} , 0.5% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 41264 m^{-1} ; 0.75% gelatin stabilized emulsion is

56947.43 m^{-1} , 0.75% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 41799.45 m^{-1} ; 1% gelatin stabilized emulsion is 58484.69 m^{-1} , and 1% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 43361.20 m^{-1} . Turbidity of emulsions are decrease as the average droplet diameters decrease, and increased as the gelatin concentrations increase.

Surface tension of 0.5 % gelatin stabilized emulsion is 56.1 mN/m, 0.5% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 63.9 mN/m; 0.75% gelatin stabilized emulsion is 55.9 mN/m, 0.75% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 60.1 mN/m; 1% gelatin stabilized emulsion is 64.9 mN/m, and 1% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 59.3 mN/m.

According to the rheological characterizations “n” values of gelatin nanofiber stabilized O/W emulsions are higher than gelatin stabilized O/W emulsions. “n” value of 0.5% gelatin stabilized emulsion is 0.6383, 0.5% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 0.7066, 0.75% gelatin stabilized emulsion is 0.4947, 0.75% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 0.7281, 1% gelatin stabilized emulsion is 0.6083, and 1% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 0.7320.

Creaming rates are higher at gelatin stabilized O/W emulsions than other emulsions at all concentrations. Creaming index of 0.5% gelatin stabilized emulsion is 62%, 0.5% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 20%; 0.75% gelatin stabilized emulsion is 19%, 0.75% gelatin nanofiber stabilized emulsion is 15%; 1% gelatin stabilized emulsion is 20%, and 1 % gelatin nanofiber stabilized emulsion is 14%.

In this study droplet size and droplet size distributions are major factors influencing the emulsion stability. Little droplet aggregation occurred at emulsions stabilized by gelatin nanofibers during storage. According to the comparisons we conclude that gelatin nanofiber added O/W emulsions are more stable at 4° C for fifteen days. This study provided valuable information about the potential application of gelatin nanofibers as emulsifiers in O/W emulsions.

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, maddenin atom seviyesinde işlenmesiyle daha gelişmiş materyaller, araçlar ve sistemler geliştirmek olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, nanoteknolojiyle atomların bileşimi ve kompozisyonu kontrol edilerek metaller daha güçlü ve hafif, seramik daha esnek, plastik daha iletken hale getirilebilir. Diğer akademik alanlardan farklı olarak nanoteknoloji tek bir disipline ait değildir. Nanoteknoloji bilimi ve teknolojisinde kimya, fizik, biyoloji, malzeme bilimi ve çeşitli mühendislik dalları ve bunların uygulamalarının olması gerekmektedir. Bu da bugüne kadar etkileşim içinde olmayan birçok bilim adamını yanyana getirmektedir. Atomik seviyede tasarlama yetisi klasik bilimleri ayıran sınırları bulanıklaştırarak, yepyeni disiplinler doğurmakta ve dünyada standartlaşmış işlem prosedürlerini derinden etkilemektedir. İnsan saçının bir telinin seksen binde biri ile ilgilenen bu teknoloji hayatımızda hızla büyümekte ve yayılmaktadır (Uldrich ve Newberry, 2008). Gıda sanayinin nanoteknolojiden yararlanma potansiyeli yüksek olmasına rağmen kullanımı çok sınırlı ölçülerdedir. Ancak özellikle son iki yıl içinde dünya gıda sanayi bu teknolojinin üstünlüklerinden yararlanma yollarının arayışı içine girmiştir. Bazı firmalar nanoteknolojik araştırma programlarını desteklemekte ve gelecek 10 yıl içerisinde kullanmayı amaçlamaktadır. Günümüzde tüketiciler tarafından talep edilen gıda kavramı değişmekte ve buna bağlı olarak gıda üreticileri tüketicilerin gereksinim ve istekleri doğrultusunda değişebilen interaktif gıda fikri üzerinde çalışmaktadır. Gıdaların özellikleri, hasattan sonra uygulanan ve pek çok biyokimyasal ve biyolojik reaksiyonları içeren çeşitli süreçler ile değişmektedir. Bu süreçler boyunca gıda güvenliğinin sağlanması, patojenlerin tayininde yeni metotların geliştirilmesi ve çevrenin korunması gibi gereksinimler nanoteknoloji ile tarım ve gıda sistemlerindeki mühendislik uygulamalarını ortak bir paydada bir araya getirmektedir. Bugün bilim adamları doğada varolan nano ölçekteki olguları ve yöntemleri öğrenmeye ve kendi kendini çoğaltabilen, denetleyebilen, kontrol edebilen, onarabilen araçlar, malzemeler ve yapılar oluşturmaya çalışmaktadırlar. Özellikle gıdaların üretiminden tüketimine kadar geçen sürenin, yani raf ömrünün

uzatılması için bir çok ambalajlama teknikleri geliştirilmiştir. Mevcut teknolojik uygulamalar az sayıdadır fakat, gün geçtikçe paketlenme ve baskı işlemlerinde daha fazla kullanılması beklenmektedir (Joseph ve Morrison, 2006).

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada öncelikle herhangi yardımcı sentetik bir polimer kullanmadan gıda kaynaklı bir polimerden elektrodöndürme yöntemi ile nanolif elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci amacı elektrodöndürme yöntemi ile sığır jelatininden nanolif eldesinde çözelti ve işlem parametrelerinin nanolif morfolojisine etkisinin incelenmesidir. Elde edilen örneklerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü amacı jelatin nanoliflerinin çeşitli konsantrasyonlarda Y/S emülsiyonlarının stabilitesine etkisinin incelenmesidir. Bunun için örneklerin zeta potansiyeli, yüzey gerilimi, damlacık boyutu ve dağılımı belirlenmiş; spektrofotometrik ve reolojik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar jelatin ilave edilmiş Y/S emülsiyonlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. NANOTEKNOLOJİ

“Nano” sözcük olarak, fiziksel bir büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelir. Bir nanometreyse, metrenin bir milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir. Bir başka deyişle, bir nanometre içine yanyana ancak 2-3 atom dizilebilir; yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturur. Bu boyutlarda sistemlerin fiziksel davranışları, normal sistemlere kıyasla farklı özellikler taşımaktadır. Bu nedenle nanoteknolojinin önümüzdeki 10-15 yıl içinde yeni bir teknoloji devrimi olarak ortaya çıkacağına inanılmaktadır. Gelişmiş ülkeler bu devrimin içinde yer almaların sağlayacak programlar üzerinde ciddi çalışmalar yapmaktadır. Fizik, kimya, mühendislik bilimleri, moleküler biyoloji ve genetik ve malzeme bilimini içeren disiplinlerarası bir alan olan nanoteknoloji dünya ülkelerinin sivil-askeri bilim ve teknoloji stratejilerini belirler hale gelmektedir (Pradeep, 2008). Yaklaşık olarak 50 nanometrenin altındaki boyutlarda bir madde söz konusu olduğunda, “kuantum fiziği kanunları” geleneksel fizik kurallarının yerini alır. Bunlar bir maddenin iletkenliğinde, elastisitesinde, reaktifliğinde, sertliğinde, renginde ve sıcaklık ile basınca olan dayanıklılığında değişimlere neden olur. Bu tür değişimler ise, tüm endüstriyel sektörler için daha küçük, daha hızlı, daha ‘akıllı’, daha ucuz, daha güvenli, daha temiz ve daha kesin çözümlere olanak sağlar (Guo ve Tan, 2009).

1981’de “taramalı tünelleme mikroskobunun” icat edilmesi, bilim insanlarına yapıları nano ölçekte kontrol etme ve bunların görüntülerini alma olanağı sağlamıştır. Bundan sonra 1986’da da “atomik kuvvet mikroskobunun” (AFM) icat edilmesi, nanoteknolojinin dönüm noktaları olmuş ve teknoloji değişiminin önünü açmıştır. Günümüzde aktarımlı elektron mikroskobu (TEM), SEM ve AFM ile nano boyuttaki yapıların morfolojik özellikleri hakkında bilgi edinilebilmekte, boyut şekil ve kompozisyonları karakterize edilebilmektedir (Andrady, 2008).

Nanoteknoloji uygulamalarının olduğu farklı alanlar için uygun kontrol, ölçüm ve üretim teknikleri geliştirilmektedir. Nanometre ölçeklerindeki farklı yapıların üretimi genel olarak iki yol izlenerek yapılabilmektedir. Bunlar; “yukardan-aşağıya üretim

yaklaşımı” (top-down) ve “aşağıdan-yukarıya üretim yaklaşımı”dır (bottom-up) (Hoboken, 2010). Yukarıdan-aşağıya üretim yaklaşımı , yani büyük maddelerden küçük moleküllerin elde edilmesi tekniği maddenin boyutlarının küçültülmesi işlemlerini içerir. Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretimi bu grup içinde yer almaktadır. Aşağıdan yukarıya üretim yaklaşımı ise, küçük moleküllerden büyük materyallerin üretimine dair teknikleri kapsar. Bu teknik gıda üretimi işleminde en küçük birimin kontrolünü sağlayarak istenen gıda ürünü üretimini sağlayabilme potansiyelini içermektedir (Sozer ve Kokini, 2008).

Nanoyapılar nanokapsüller, nanotüpler ve nanolifler olmak üzere temelde üç gruba ayrılmaktadır. Nanokapsüller, milimetrenin binde biri büyüklüğünde, ince ve içi boş kapsüllerdir. İlaç kozmetik ve tekstil endüstrisinde istenen belirli bir fonksiyonel bileşenin salınımı gibi konularda yaygın olarak kullanılmaktadır. Nanotüpler uzunlukları mikron, çapları ise nanometre boyutlarında olan yapılardır. En çok bilineni gıda dışı uygulamalara sahip olan karbon nanotüplerdir. Çelikten daha sert ve plastikten daha esnek olan bu yapılar enerjiyi şimdiye kadar keşfedilen tüm maddelere göre daha iyi iletmektedirler. Karbon nanotüpler ambalaj materyallerinde elektronik bileşenler ile birleştirilerek kullanılmaktadırlar. Bu ambalaj materyalleri diğerlerine göre daha parlak ve güçlü olmakta, içersindeki ürünlerin bozulup bozulmadığını belli etmeleri nedeniyle de akıllı ambalaj olarak adlandırılmaktadırlar. Bunun dışında karbon nanotüplerin enkapsüle edici, viskozite arttırıcı ve jelleşmeyi sağlayıcı yapılar olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Nanolifler ise çapları bir mikronun altında olan yapılardır. Başta elektrodöndürme yöntemi olmak üzere çeşitli tekniklerle üretilmektedirler. Elektrodöndürme yöntemi ile üretilen nanolifler uzay uygulamaları, savunma endüstrisi, ilaç endüstrisi, hava ve su filtrasyon uygulamaları ve tarım uygulamaları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Bonino ve diğ., 2011).

3. NANOLİF ÜRETİM TEKNİKLERİ

Nanolif terimi çapları bir mikronun altında olan lifler için kullanılmaktadır. Üretimlerinde genel olarak dört teknik kullanılmaktadır. Bunlar;

- Eriyikten nanolif eldesi (Meltblowing ve Spunbond yöntemleri)
- Fibrilasyon yöntemi
- Bikomponent (çift bileşenli) liflerden nanolif üretimi
- Elektrodöndürme yöntemi ile üretimdir (Ifuku,2010; Yarin,2011).

3.1 Eriyikten Nanolif Eldesi (Meltblowing ve Spunbond Yöntemleri)

Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan meltblowing yöntemi ile 0,5 – 30 µm aralığında lif üretilmektedir. Dokuma olmayan (nonwoven) kumaşlar üretmek için kullanılmaktadır. Üretimde yaygın olarak termoplastikler ve sentetik polimerlerden polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP) ve poliakrilamid (PA) kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan polimerler veya termoplastikler ekstruderde eritilmekte ardından filtrasyona tabi tutulmaktadır. Filtrasyon sonrasında pompa yardımı ile lif çekim başlıklarına iletilmekte ve üflenerek hava yardımı ile inceltilmektedirler. Oluşan lifler genel olarak 20 m/s hızla hareket eden metal plakalar üzerinde toplanmaktadır. Kapalı atmosferde gerçekleştirilen işlem için içeride soğutucu hava sirkülasyonu gerçekleşmekte ve bu oluşan lif jetlerinin katılaşmasını sağlamaktadır. Bu teknik ile direkt olarak tekstil yüzeylerinin üretilmesi mümkündür (Yarin ve diğ., 2011). Teknik düşük maliyetlerle üretim gibi bir avantaja sahiptir. Ancak üretilen liflerin mukavemeti düşüktür ve lif çapları kendi içinde büyük değişiklikler göstermektedir (Balcı, 2006).

Spunbond yöntemi meltblowing tekniği ile benzerlik göstermektedir. Farklı lifleri oluşturmak amacıyla üflenerek havanın hacmi ve sıcaklığının farklı olmasıdır. Bu farklılıklar elde edilen liflerin fiziksel özelliklerini değiştirmektedir. Bu işlemle 20 mikron ve altındaki çaplarda lif üretimi gerçekleştirilmektedir. Lifler meltblowing

yöntemine göre daha kalın olmaktadır. Bunun nedeni meltblowing yönteminde eriyiklere hava akımı uygulanması spunbond yönteminde ise polimerler soğuyup katılaştığında germe kuvvetlerinin uygulanmasıdır (Celep, 2007).

3.2 Fibrilasyon Tekniği İle Nanolif Üretimi

Doğrusal zincir yapısına sahip liflerin daha küçük boyutlara indirgenmesi işlemidir. Bu teknik polimer yapıların çeşitli çözeltilerde çözündürülmesi, kurutulması ve öğütülmesi gibi aşamalardan oluşmaktadır. Dolayısı ile işlem uzun süreçler gerektirmektedir ve oluşan lifler SEM karakterizasyonunda birbirleri ile bütünleşmiş halde görülmektedir. Lif çaplarında ise önemli farklılıklar gözlenmektedir (Ifuku ve diğ., 2010).

3.3 Çift Bileşenli (Bikomponent) Liflerden Nanolif Üretimi

Yöntem çift bileşenli liflerin ayrıştırılmasıyla daha küçük boyutlarda nanolifler elde edilmesine dayanır. Nanolif üretiminde kullanılan yapılar kesit şekillerine göre içi-içe (matrix-fibril), yan-yan (side-by-side), denizde adacık (core-sheat) ya da dilimli pasta (segmented pie) şeklinde bikomponent lifler olarak ayrılırlar. En çok kullanılanı denizde adacık yapısıdır. Standart üretim çekim işlemi ile denizde adacık modeli belirli düzeneklerden geçirilir ve yapıdaki iki ayrı polimerden içyapıdaki polimer fibrilli bir şekilde dış polimerin içine yerleşir. Daha sonra dış kısım çeşitli çözücülerde eritilir. Bu üretim tekniği yaklaşık olarak 20 yıldır kullanılmaktadır. Üretilen nanolifler tekstil sektöründe, sentetik damar yapımında ve hava filtrasyon malzemeleri yapımında kullanılmaktadır (Kozanoğlu, 2006; Celep, 2007).

4. ELEKTRODÖNDÜRME YÖNTEMİ İLE NANOLİF ÜRETİMİ

Elektrodöndürme yöntemi polimer nanolifler elde etmek amacıyla elektriksel kuvvetlerin uygulandığı bir tekniktir. Mekaniksel kuvvetlerin kullanıldığı diğer nanolif üretim tekniklerinin aksine üretim elektrostatik kuvvetlere dayalı olarak gerçekleşmektedir. Bu teknikle polimerlerden 2 nm ile birkaç µm arası değişen nanolifler elde etmek mümkündür. Bu teknoloji son yıllarda diğer yöntemlere göre daha kaliteli lif elde edilebilmesi ve geniş aralıkta polimer tipleriyle üretim yapılabilmesi nedeniyle ön plana çıkmıştır. Tekstil alanında 60 yıldan beri kullanımı mevcuttur.

4.1 Elektrodöndürme Yönteminin Tarihçesi

Elektrodöndürme yöntemi ilk olarak 1897 yılında Rayleigh tarafından keşfedilmiştir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretimine dair kayıtlı ilk patentler ise 1902 yılında J.F. Cooley ve W.J. Morton tarafından alınmıştır. 1934 yılında Anton Formhals yöntemi daha da geliştirerek yeni bir patent almıştır. Bu teknikle elde edilen nanolifler hareketli bir toplayıcı plaka üzerinde toplanmıştır. Formhals patentinde gereken potansiyel farkın polimerin moleküler ağırlığı ve viskozitesi gibi çözelti özelliklerine bağlı parametreler olduğunu ifade etmiştir (Andrady, 2008). 1939'da sistemi, şırınga ile toplayıcı arasındaki mesafenin ayarlanabildiği bir şekilde tekrar tasarlamıştır. Çünkü mesafe kısa tutulduğu takdirde çözücünün tam olarak buharlaşmaması sebebiyle lifler birbirlerine yapışma eğilimi göstermektedir. 1940 yılında Formhals hareketli bir ana tabaka üzerine elektrostatik kuvvetler vasıtasıyla üretilen polimer lifleri ve çoklu polimerden oluşmuş kompozit lif tülbenti üreten bir sistemin patentini almıştır. Hareketli toplayıcı plaka sayesinde liflerin tamamen kurumasına imkân tanıyacak mesafe sağlanabilmiştir (Formhals, 1943).

1960'lı yıllarda Taylor tarafından yapılan çeşitli çalışmalarda, elektriklenmiş sıvılara ait temel teorik prensipleri açıklanmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesinde, iki sıvı

arasındaki koni ara yüzün elektrik alan içerisinde dengede olduğu gösterilmiştir. Elektrik alan etkisi altında sıvı yüzeyi yüklenir ve karşılıklı yüklerin birbirlerini itmesi ile dış bir kuvvet oluşur. Eşik değerini geçtikten sonra elektrostatik kuvvetle, sıvı damlacığı bir koni şeklini alır ve fazla yükler koninin ucunda oluşan yüklenmiş jetten dışarı çıkar. Taylor, elektriksel kuvvetin yüzey gerilimine eşit olduğu bu kritik noktada koni oluştuğunu açıklamıştır. Patentinde çözeltiye ait viskozite, dielektrik katsayısı, iletkenlik ve uçuculuk özelliklerinin elektro döndürme yönteminin temel parametreleri olduğunu belirtmiştir (Taylor, 1964; 1966).

1966'da Simons, elektrodöndürme için yeni bir sistem geliştirerek patentini almıştır. Bu deneyde kullanılan iki elektrottan pozitif yüklü olan çözeltinin içine batırılırken diğeri de toplayıcı plakaya yapıştırılmış, metil keton içerisinde poliüretan ve metilen klorit içerisinde polikarbonat çözeltilerinden çok hafif, ince ve dokuma olmayan lif yapıları elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre düşük viskoziteli çözeltilerden daha kısa ve ince lifler üretilirken daha yüksek viskoziteye sahip çözeltilerden daha sürekli lifler elde edildiği tespit edilmiştir (Simons, 1966).

1971'de Baumgarten elektrodöndürme yöntemiyle akrilik polimerinden 0,05-1,1 µm çaplarında ve sürekli bir şekilde lif eldesi sağlayan bir cihaz geliştirmiştir. Dimetilformamid içerisinde çözülmüş poliakrilonitril polimer çözeltisine 5 – 20 kV arasında gerilim uygulamıştır. Bu deneyde, lif çapı, çözelti viskozitesi, debi ve ortam nemi arasındaki ilişkiler incelemiştir. Lif çapının çözelti viskozitesiyle doğru orantılı olduğunu ve debinin lif çapına etkisinin çözelti viskozitesinin etkisine oranla daha az olduğunu açıklamıştır. Ortam neminin fazla olduğu durumlarda ise liflerin toplayıcı plakada ıslak şekilde toplanıp birbirlerine yapıştığını gözlemlemiştir (Baumgarten, 1971).

1977'de Martin ve ekibi elektrodöndürme yoluyla organik polimerlerden tıbbi malzemelerde kullanılmak üzere elektrodöndürme yöntemiyle lif ağı elde etmiştir. Politetrafloroetilen (PTFE) süspansiyonu, poliüretan, polivinilalkol, polivinilpirolidon ve polietilenoksit çözeltilerini topraklanmış şırınga ucuna besleyerek elektrostatik yöntemle lif ağları üretmişlerdir. Bu işlemde güç kaynağı hareketli, taşıyıcı ve iletken olmayan kayışlar ile metal iğne arasına uygun bir mesafede konulmuş, lifler hareketli kayışlarda toplanmıştır. Potansiyel fark olarak 20 kV kullanılmış ve toplayıcı ile hareketli kayış arasındaki mesafe 5-35 cm arasında değiştirilmiştir. Elde edilen ağı çok ince boşluklara ve geniş yüzey alanına sahip

olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen ağ sargı bezi olarak kullanılabilmektedir. Sargı ile yapılan deneylerde yaradan dışarı çıkan kan ya da serum sargıya nüfuz ederken kolayca pıhtılaşmış ve çok sayıdaki ince yarık sayesinde sargının yüzey alanının geniş olması nedeniyle pıhtılaşma kolay bir şekilde gerçekleşebilmiştir (Martin, 1977).

1978’de Simm ve ekibi elektrodöndürme yöntemi ile elde ettikleri lifleri hava filtresinde kullanmışlardır. Deneylerinde polistren (PS), polikarbonat (PC) ve poliakrilonitril (PAN) çözeltilerinden elde ettikleri lif yapılarını hav olarak kullanarak filtrasyon deneylerinde 0,5 mikron boyutunda parçacıkları filtre edebildiklerini gözlemlemişlerdir (Simm, 1978).

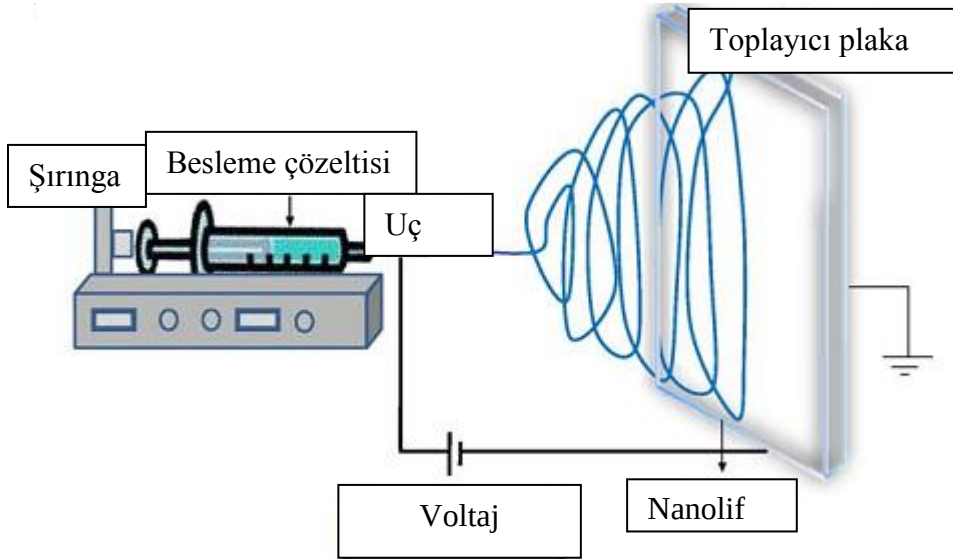
Larrondo ve Manley (1981) elektrodöndürme yöntemi ile poliolefinden nanolif üretimi üzerine çalışmışlar ve eriyikten üretilen nanoliflerin çözeltiden üretilen nanoliflere göre daha kalın lif çapına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Eriyiğin sıcaklığını yükseltip vizkozitesinin düşürülmesi halinde daha ince nanolifler elde edildiğini belirtmişlerdir (Larrondo ve Manley, 1981).

How (1985) poliüretandan (PÜ) sentetik damar üretimi için bir işlem tanımlamış ve patentini almıştır. Sistemin çalışma prensibi önceki çalışmalara benzemektedir. Diğer sistemlerden ayıran özelliği 12 kV lik potansiyel farkının uygulandığı toplayıcı plakanın 2000 ila 20000 rpm arasında bir dönüş hızıyla dönmesidir. Bu işlemi sayesinde damara tek yönde kuvvet taşıma özelliğini kazandırılabilirdiği belirtilmiştir (How, 1985).

1990’lı yılların ortalarına doğru Reneker ve grubu diğer nanolif üretim yöntemlerine göre elektrodöndürme yöntemi ile daha ince nanoliflerin elde edilmesinin mümkün olduğuna ve sürekli üretimin yapılabilmesine dikkat çekmişlerdir. 1996 yılında ise teknikte birçok polimer türünden nanolif elde edilebileceğini kanıtlamışlardır (Reneker, 1996) . Reneker ve grubunun elektro döndürme işlemi üzerine çalışmaya başlamasıyla bir çok araştırmacı da bu konu üzerine yoğunlaşmış ve bu tarihten sonra yayınlanan makaleler ve tezler giderek artmıştır. Son 60 yılda elektro döndürme yöntemi ile polimerlerden nanolif elde edilişi üzerine yaklaşık 50 patent alınmıştır (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

4.2 Elektrodöndürme Yönteminde Etkili Kuvvetler ve İşlemin Uygulanışı

Uygun bir polimer çözeltisi, polimer çözeltisi ile temas halinde bulunan bir elektrot, yüksek gerilim sağlayan düz akım güç kaynağı ve topraklanmış toplayıcı plaka elektro döndürme yönteminin gerçekleştirilmesi için gereken en basit bileşenlerdir. İşlem esnasında polimer çözeltisi sabit bir debi ile besleme pompasından besleme borusuna pompalanmakta ve besleme ucuna gelen çözelti temas halindeki elektrot sayesinde elektriksel yüklerle yüklenmektedir. Besleme ucu ve besleme plakası arasında güç kaynağının sağladığı elektriksel gerilim oluşmaktadır. Yeterli viskoziteye sahip polimer çözeltisinin yüzey gerilimi oluşan bu elektriksel gerilime karşı koymaktadır. Voltaj değeri çözeltinin yüzey gerilimini aşabilecek seviyeye ulaştığında nanolif oluşumu başlamaktadır. Üretim işlemi literatürde yapılan çalışmalara göre belirli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; damlacık ve Taylor Konisi oluşumu, jet oluşumu ve nanoliflerin toplayıcı plakada toplanması aşamalarıdır (Andrady, 2008).



Şekil 4.1 : Elektrodöndürme tekniğinin şematik gösterimi (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

Elektrodöndürme işleminin ilk adımı besleme ucunda elektriksel yükler barındıran polimer çözeltisi damlacığının oluşumudur. Bunun nedeni çözeltinin besleme borusundan besleme ucuna doğru pompalanmasıdır. Elektriksel gerilim uygulanmadığı sürece damlacıkta yüzey gerilimi ve yerçekimi kuvveti olmak üzere iki kuvvet etkindir. Elektriksel alan uygulandığında elektriksel kuvvetler bu iki kuvvete zıt olarak hareket etmektedirler. Uygulanan elektriksel alan nedeniyle

damlacıkta elektriksel yük ayrışmaları meydana gelmektedir. Örneğin; pozitif yüke sahip besleme ucunda çözelti içindeki pozitif yükler aynı yüklerin birbirini itmesi nedeniyle damlacığın yüzeyinde toplanmaktadır. Bu elektriksel yük ayrımı besleme çözeltisinin yüzey gerilimine karşı koyan bir etki oluşturmaktadır. Uygulanan elektriksel alanın büyüklüğü elektriksel yüklerin ne kadar hızlı hareket edeceğini belirlemektedir. Taylor Konisi ise elektriksel alan belli bir kritik değere ulaştığında oluşmaktadır. Bu yapının oluşumu çözeltiye ait yüzey gerilimleri ve uygulanan elektriksel alan kuvvetinin birbirine eşdeğer olduğu noktada gözlemlenmektedir. Bu değer her polimer çözeltisi için farklıdır ve yüksek yüzey gerilimine sahip besleme çözeltilerinde daha yüksek voltaj uygulaması gerekmektedir. Genel olarak yüksek viskoziteye sahip polimer çözeltilerinde düzgün ve stabil yapıda Taylor Konisi oluşumu gözlemlenir. Her polimer çözeltisi için aynı yapı gözlemlenemeyebilir, elektriksel iletkenlik ve viskozite özelliklerinin farklı oluşu nedeniyle farklı çaplar ve morfolojik özellikler gözlemlenmektedir (Andrady, 2008).

Elektriksel kuvvetlerin yüzey gerilimini yenmesi ve Taylor Konisi'nin oluşmasının ardından jet oluşumu gözlenmektedir. Bu nanolif oluşumunun ilk aşamasıdır. Voltajın artması ile Taylor Konisi yüzeyinde oluşan jet sayısı artmaktadır. Jet oluşumu esnasında besleme çözeltisinin çözücü kısmı uzaklaşmaktadır. Bu şekilde nanolifler toplayıcı plakada kuru halde toplanabilmektedirler. Jet Taylor Konisi yüzeyinden uzaklaştıkça hız ve eksenel bir hareket kazanmaktadır. Bu da jetin uzanıp gerilmesini sağlamaktadır. Uygulanan voltajın artması ile bu hız değeri de artmakta ve jet stabil olmayan bir yapı kazanmaktadır. Stabil halde olmayan jet daha çok gerilme kuvvetlerine maruz kalmakta, toplayıcı plakada daha ince nanolifler toplanmaktadır. Aynı şekilde jet stabilizasyonunu bozulmasıyla toplayıcı plaka üzerinde birim alanda daha az nanolif birikimi gözlemlenmektedir. Yerçekimi kuvveti, elektrostatik kuvvetler, viskoelastik kuvvetler, yüzey gerilimi kuvvetleri ve ortamdaki hava ile temas halindeki sürtünme kuvvetleri jet oluşumuna etki eden kuvvetlerdir (Andrady, 2008).

Jetten uzaklaşan çözücü sayesinde nanolifler kuru şekilde toplayıcı plaka üzerinde toplanmaktadır. Burada en önemli faktör çözücünün uçuculuğudur. Bu nedenle polimer çözeltisi hazırlanırken yüksek uçuculuğa sahip çözücüler seçilmelidir. Çözücünün tam olarak sistemden uzaklaşabilmesi için besleme ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe ve ortam sıcaklığı optimum koşullarda olmalıdır. Aksi halde

nanolifler eriyik şeklinde morfolojik yapı kazanmaktadır. En iyi elektrodöndürme şartlarında nanolifler toplayıcı plakada birbirlerine çapraz şekilde ve damlacıksız yapıda toplanmaktadır (Andrady, 2008).

4.3 Elektrodöndürme İşleminde Etkili Parametreler

Elektrodöndürme yöntemi birçok faktörün etki ettiği karmaşık bir işlemdir. İşleme etki eden faktörler üç ana gruba ayrılırlar. Bunlar; polimer çözeltisine ait etkenler, işlem parametreleri ve çevresel etkenlerdir. Bu ana değişkenler nanolif kalitesine önemli ölçüde etki etmektedirler. Herhangi birindeki değişim diğerlerinin etkisinin ve nanolif morfolojisinin değişimine, ya da direkt olarak işlemde aksaklıklar oluşmasına neden olmaktadır (Nataraj ve diğ., 2009).

4.3.1 Polimer çözeltisine ait etkenler

Beslenen polimer çözeltisinin konsantrasyonu, çözücü sistemin özellikleri, çözeltinin iletkenliği, yüzey gerilimi, dielektrik sabiti özellikle nanolif çapına etki etmektedir (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

4.3.1.1 Konsantrasyon etkisi

Çözelti konsantrasyonu genel olarak o çözeltiden üretim yapılıp yapılamayacağını belirler. Her polimer konsantrasyonuna için o konsantrasyondan lif üretimini sağlayabilecek elektriksel gerilimin uygulanması gerekmektedir. Konsantrasyon aynı zamanda lif morfolojisi ve çapını da etkilemektedir. Genel olarak diğer faktörler sabit tutulduğunda çözelti konsantrasyonunun artışı lif çapında artışa neden olmaktadır. Ancak literatürde yapılan çalışmalarda nanolif üretimi için bir polimerin belirli moleküler ağırlıkları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Dolayısıyla kesin bilginin verilebilmesi için farklı moleküler ağırlıklara sahip farklı polimerlerle çalışılması gerekmektedir. Çözelti viskozitesi çözeltiye ait parametreler içinde lif çapına etki eden en önemli faktördür. Ancak çözelti viskozitesindeki değişim sadece polimer tipi ile ilgili olmayıp çözelti özelliklerine de bağlıdır (Andrady, 2008). Örneğin Lee ve arkadaşları (2003) yaptıkları bir çalışmada % 13'lük PS çözeltisinin viskozitesinin polimerin içinde çözündüğü tetrahidrofuran (THF) ve dimetilfurfural (DMF) çözügenlerinin oranlarına göre önemli ölçüde değiştiğini gözlemlemişlerdir (Lee ve diğ., 2003).

Katı miktarının fazla olduğu yüksek konsantrasyonlu çözeltilerde besleme ucunun tıkanması gibi nedenlerle elektro döndürme işleminin aksayabilmekte ve nanoliflerin toplayıcı plaka üzerinde daha küçük alanda toplanabilmektedir. Bu gibi durumlarda polielektrolitlerin eklenmesi çözelti içindeki katı miktarını arttırmadan viskoziteinin yükselmesini sağlayabilmektedir. Bu yöntem floküle olabilecek materyaller ve süspansiyonlardan da nanolif üretimini sağlayabilmektedir (Andrady, 2008).

4.3.1.2 Çözücü özellikleri

Çözücünün seçimi çözelti içinde polimer zincirlerinin dağılımını, çözelti yüzey geriliminin oluşumunu, jet oluşumunu ve jet oluşumunda çözücünün buharlaşarak nanoliflerin kuru hale geçişini etkilemektedir. Nanolifin besleme ucundan çıkıp toplayıcı plakaya ulaşmasına kadar geçen sürede çözücünün buharlaşıp uçuşması gerekmektedir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Uçuculuk çözücünün jet oluşumu sırasında ne kadar sürede buharlaşabileceğini belirlemektedir. İdeal olan çözücüler nanolifin besleme ucundan çıkıp toplayıcı plakaya ulaşmasına kadar olan sürede buharlaşıp uzaklaşmalıdır. Buharlaşma olmadığı takdirde nanolifer plakada ıslak halde ve düz şeritler şeklinde toplanmaktadır. Bu olumsuzlukları engellemek için uçucu çözücüler kullanılmalıdır. Ancak yüksek derecede uçuculuğa sahip çözücüler çözelti besleme ucunda iken sistemden uzaklaşabilmekte ve tıkanmalara neden olmaktadır. İşlemden jet oluşumu esnasında daha hızlı kuruma daha düşük çaplarda nanolif oluşumunu sağlamaktadır. Uçuculuk aynı zamanda işlemin gerçekleştiği ortam sıcaklığına da bağlıdır (Andrady, 2008).

Son ve arkadaşları (2004) polietilen oksiti (PEO) farklı DMF ve kloroform oranlarına sahip çözücüler içinde çözündürmüş ve nanolif çapının çözücü özelliklerine göre değiştiğini saptamışlardır. Sonuçlara göre yüksek dielektrik sabitine sahip çözücülerden elde edilmiş çözeltiler ile daha küçük çap boyutlarına sahip nanolifler elde edildiğini gözlemlemişlerdir (Son ve diğ., 2004).

Literatürde yapılan çalışmalara göre çözücüye ait dört faktörün nanolif morfolojisini belirlemede ön plana çıktığı düşünülmektedir. Bunlar; iletkenlik, yüzey gerilimi, dielektrik özellikleri ve uçuculuktur. Çözücüye ait tek bir özelliğin değiştirilmesi polimer çözeltilerine ait birden fazla özelliği değiştirebilmektedir. Henüz çözücü seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler belirlenememiştir yapılan çalışmalar deneme yanılma yöntemlerine dayanmaktadır (Andrady, 2008).

4.3.1.3 Çözelti iletkenliği

Çözelti iletkenliği çözeltinin elektriği iletme yeteneğinin sayısal ifadesidir. Elektrodöndürme yönteminin temeli elektrotlardan besleme çözeltisine elektriksel yüklerin iletimine dayanır. Bu nedenle elektriksel iletkenlik değeri sıfır olan çözeltilerden bu yöntem ile nanolif üretiminin yapılabilmesi mümkün değildir. Çözelti iletkenlik değeri Siemens (S) birimi ile belirtilmektedir ve 1 Siemens = 1 Amper/Volt değerindedir. Çözeltiyi oluşturan çözücüler genelde saf sudan ($0,055 \mu\text{S}$) daha düşük iletkenlik değerlerine sahiptirler. Polimerlerin çözücü içersinde çözünmesi sırasında iyonik bileşenlerin açığa çıkmasıyla çözeltinin iletkenlik değeri artmaktadır. Konsantrasyonun artışıyla elektriksel iletkenliğin artışı genel olarak doğrusal bir ilişki göstermektedir. Ancak bünyesinde iyonik bileşenler içermeyen polimer yapıları için bu durum tam tersidir. Bu tip çözeltilerde elektriksel iletkenliği yükseltmek için sodyum klorür (NaCl) gibi inorganik tuzlar eklenmektedir. İyonik katkı maddelerinin eklenmesi daha stabil jet oluşumu sağlamakta ve nanolif miktarını artırmaktadır. Çözeltilerin iletkenliği aynı zamanda farklı çözücü kombinasyonları kullanılarak da değiştirilebilmektedir. Çözelti iletkenliğinin belirli bir seviyeye kadar artışı daha ince nanolif oluşumunu sağlamaktadır. 5 mS/cm değerinden daha yüksek iletkenliğe sahip çözeltilerle ise nanolif üretimi mümkün olmamaktadır (Andrady, 2008). Kim ve arkadaşları (2005) yaptıkları bir çalışmada % 5'lik poliakrilik asit (PAA) çözeltisine eklenen 0,1 ve 0,001 M NaCl ile nanolif üretilebilmiş fakat 1 M eklendiğinde nanolif üretiminin gerçekleşmediğini gözlemlemişlerdir (Kim ve diğ., 2005). Aynı şekilde iyonik katkıların eklenmesi ve çözücü kombinasyonlarının kullanılması her zaman lif morfolojisinde iyileşmeler sağlamamaktadır (Andrady, 2008).

4.3.1.4 Yüzey gerilimi

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzey katmanının esnek bir tabakaya benzer özellikler göstermesinden kaynaklanan etkiye verilen addır. Yüzeyde birim başına düşen enerjiyi ifade eder ve birimi mN/m (milinewton/metre)' dir (Rubinstein ve Colby). Çözeltiye ait yüzey gerilimi işlemde elektrostatik kuvvetlere karşıt olan kuvvetleri meydana getirmektedir. Nanolif üretimi için gerekli minimum voltaj değeri yüzey geriliminin artmasıyla birlikte artmaktadır. Yüzey geriliminin değeri polimerin ve çözücünün özelliklerine, ortam sıcaklığına göre değişmektedir. Genel olarak yüzey

gerilimi polimer konsantrasyonunun artışıyla birlikte azalmaktadır. Düşük miktarlarda surfaktanların eklenmesi çözeltinin yüzey gerilimini önemli ölçüde azaltarak nanolif üretimi için gerekli voltaj değerini düşürmekte ve üretimin daha kolay yapılabilmesini sağlamaktadır. Çözeltinin yüzey geriliminin düşük olması daha ince ve damlacıksız nanolif oluşumunu sağlamaktadır (Andradı, 2008).

4.3.1.5 Dielektrik sabiti (ϵ)

Çözeltinin dielektrik sabiti ne kadar elektriksel yükü bünyesinde barındırabileceğini, tutabileceğini belirlemektedir. Birimi F/m (Farad/metre)'dir. Dielektrik sabiti çözücüye ve çözünen polimere göre değişmektedir. Yüksek dielektrik sabiti besleme çözeltisi içerisinde elektriksel yüklerin daha eşit şekilde dağılımını, bu da daha yüksek oranda daha kaliteli nanolif üretimini sağlar. Bir başka deyişle dielektrik sabitinin yükselmesi birim alanda daha fazla oranda nanolifin toplanmasını sağlamaktadır. Dielektrik sabitini değiştirmek için katkı maddeleri eklenebilmekte veya farklı çözücüler kullanılabilir. Ancak bunlar yapıldığında lif morfolojisindeki değişim sadece dielektrik sabitindeki değişime bağlanamamaktadır. Çünkü bu işlemler aynı zamanda iletkenliği, yüzey gerilimini ve polimer zincirlerinin çözelti içindeki dağılımını da etkilemektedir (Andradı, 2008).

4.3.2 İşlem parametreleri

Nanolif morfolojisine etki eden işlem parametreleri; uygulanan voltaj, besleme ucuna ve besleme borusuna ait özellikler, besleme ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe, toplayıcı plakaya ait özellikler ve besleme debisi olarak birkaç başlık altında toplanmaktadır.

4.3.2.1 Uygulanan voltaj

Uygulanan voltaj işlem esnasında besleme çözeltisinin elektriksel yüklerle yüklenmesini sağlamaktadır. Voltajın artması ile birlikte çözelti daha fazla yüklenmekte, oluşan jet uzunluğu artmakta ve daha kararsız bir yapı kazanmaktadır. Bu nedenle plakada toplanan nanolifler daha düşük çaplara sahip olmaktadır. Yani genel olarak nanolifler uygulanan voltajın artması ile birlikte daha ince yapıda toplanmaktadır (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Ancak literatürdeki bazı çalışmalar sonucun her zaman aynı olmadığını göstermektedir. Örneğin PVA'nın sulu çözeltisi ile yapılan bir çalışmada uygulanan farklı voltaj değerlerinin lif çapına önemli bir

etkisinin olmadığını göstermiştir (Ren ve diğ., 2006). Başka bir çalışmada ise uygulanan voltaj değerinin 5 V'den 25 V'ye yükselmesi ile oluşan nanolif çapının 0,31 μm boyutundan 1,72 μm boyutlarına kadar artış gösterdiğini gözlemlenmiştir (Baker ve diğ., 2006). Voltajın lif çapına etkisi incelenirken diğer işlem parametreleri de değerlendirilmelidir. Voltajın artması aynı zamanda daha hızlı şekilde lif oluşumunu sağlamaktadır. Hızın artışı voltaj ile birlikte genel olarak doğrusallık göstermektedir. Bazı durumlarda voltajın yüksek değerlerde oluşu Taylor konisinin dışa dönük değil içe dönük bir yapı kazanmasına neden olmaktadır. Bu da damlacıklı ve düzensiz yapıda nanoliflerin oluşması ile sonuçlanabilmektedir (Andrady, 2008).

4.3.2.2 Besleme ucu ve besleme borusuna ait özellikler

Besleme ucunun polaritesi hem nanolif çapını hem de nanoliflerin toplayıcı plaka üzerinde yayıldıkları alanı önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda besleme ucunun negatif yükte olmasının daha büyük çaplarda nanolif oluşumuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde negatif yüklü uçlar birim alandaki nanolif yoğunluğunu düşürmektedir. Besleme borusunun çapı nanolif çapını etkilemektedir. Küçük çaplardaki besleme boruları ile küçük çaplarda nanolifler elde edilmektedir. Bu tip borulardan yüksek viskoziteye sahip polimer çözeltilerinin pompalanıp besleme ucuna aktarılmasında sorunlar yaşanmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar doğrultusunda besleme borusu için en uygun çap değeri 4,5 mm olarak belirlenmiştir (Andrady, 2008).

4.3.2.3 Besleme ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe

Besleme ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe elektriksel alanın ne kadar kuvvetli olacağını ve çözeltideki çözücünün ne kadar sürede nanoliflerden uzaklaşacağını belirlemektedir. Diğer şartlar sabit tutulduğunda mesafenin artışı genel olarak nanolif çapında azalmalara neden olmaktadır. Ancak bazı durumlarda tam tersi olduğu da gözlemlenmiştir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Baker ve ark. (2006) PS'nin kloroform içindeki %17'lik çözeltisi ile yaptıkları çalışmada 15 kV gerilim uygulamış ve toplayıcı plakaya olan mesafenin 5 cm'den 20 cm'ye çıkması ile birlikte nanolif çapının 1 μm 'den 0,66 μm 'ye doğrusal bir düşüş gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Baker ve diğ., 2006). Boşluk mesafesi lif çapını olduğu kadar lifin morfolojisini de etkilemektedir. Mesafe çözücünün nanolif jetinden uzaklaşmasını sağlayacak değerde olmalıdır. Aksi takdirde toplayıcı plakada nanolifler yaş şekilde toplanmakta

ve eriyik şeklinde nanolif ağları oluşmaktadır. Mesafenin kısa oluşu aynı zamanda Taylor Konisi'nde kararsızlığa ve bunun sonucunda kusurlu morfolojik yapılar oluşmasına neden olmaktadır (Andrady, 2008).

4.3.2.4 Toplayıcı plakaya ait özellikler

Toplayıcı plakanın üretildiği materyal ve geometrik şekli nanolif morfolojisini etkileyen iki önemli parametredir. Nanoliflerin topraklanmış toplayıcı plakaya temas etmesiyle sahip oldukları elektriksel yükler sıfırlanmaktadır. Dışarda kalan nanoliflerdeki boşalma daha yavaş gerçekleşmektedir. Tüm bunlar nanolif morfolojisini, özellikle de birim alandaki yoğunluklarını etkilemektedir. Bu nedenle toplayıcı plakanın üretildiği materyalin dielektriksel özellikleri önemlidir. Diğer bir parametre toplayıcı geometrisidir. Laboratuvar koşullarında kullanılan cihazlara ait toplayıcılar genellikle sabit metal plakalardan oluşmaktadır. Bunun dışında literatürde döner silindir, döner plaka, çeşitli geometrik şekillerde tel çerçeveler, halka şeklindeki elektrotlar ve karşılıklı koni şeklindeki toplayıcılar ile yapılan çalışmalar da mevcuttur. Toplayıcı geometrileri nanoliflerin ne şekilde toplanacağını belirlemekte, hareketli toplayıcılar ise birim alanda istenilen yoğunlukta nanolif birikimini sağlamaktadır. İstenilen yoğunlukta nanolif toplanması lif ağının daha orantılı dağılımını ve gözenekli yapının daha kontrollü gelişmesini sağlamaktadır. Bu özellikle sensör uygulamalarında avantaj sağlamaktadır. Hareketli plakaların hızı da nanolif ağının morfolojisini etkilemektedir (Andrady, 2008).

4.3.2.5 Besleme debisi

Besleme debisi birim zamanda ne kadar polimer çözeltisinin nanolife dönüştüğünü belirlemektedir. Debi besleme ucundan plakaya doğru hareket eden polimer çözeltisi miktarı ile eşdeğer olmalıdır. Aksi takdirde sürekli ve orantılı çap dağılımına sahip nanolif oluşumu gerçekleşmemektedir. Düşük debilerde Taylor Konisi oluşamamakta, yüksek debilerde ise çap değeri büyük olan damlacıklı yapıda nanolifler oluşmaktadır. Yüksek debi Taylor Konisi'nde elektriksel yüklenmeyi de azaltmaktadır bunun sonucund ise nanolif çaplarında artış olmakta veya nanolif oluşumu tamamen durmaktadır (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

4.3.3 Çevresel etkenler

Elektro döndürme işleminin gerçekleştiği ortamın gaz bileşimi ve sıcaklığı çözeltideki çözücünün buharlaşma süresini etkilemektedir. Kuru lif elde etmek için bu koşulların kontrol edilmesi gerekmektedir. Genel olarak 25 – 57 ° C sıcaklığında ısıtılmış havanın sirkülasyonu ile ve ekstra ısı kaynağına sahip cihazlarda jet oluşumunda çözücünün buharlaşması daha hızlı şekilde gerçekleşmektedir. Ancak ısıtılmış havanın sirkülasyon hızı oluşan nanolif jetindeki çözücünün buharlaşma hızına eşdeğer olmalıdır (Andrady, 2008).

5. GIDALARDA NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Gelişmekte olan ülkelerde nanoteknolojinin uygulama alanlarından biri de gıda endüstrisidir. Gıda sektöründe nanoteknolojiden yararlanılması faydalı ve önemli olmasına rağmen hala sınırlı ölçüde kullanılmaktadır. Bu konuda hazır gıdaların tüketiminde artışın fazla olmasından dolayı gıdaların taze ve uzun süre dayanıklı olması üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle gıdaların raf ömrü ve kalitesi açısından işlenmiş et ve su ürünleri ile taze meyve-sebzelerin ambalajlanması ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Geliştirilen yenilebilir filmler, antimikrobiyal paketlemeler, biyobozunur malzemeler, akıllı ambalajlama, nanokopozit ambalajlar, nanosensörler gibi gıda güvenliğini kontrol altına alan sistemler bunlara örnek gösterilebilir. Nanoteknoloji sayesinde üretilen gelişmiş ambalaj materyalleri sayesinde daha geniş çaplı ve daha verimli gıda ürünlerinin dağıtımı mümkün olmaktadır. Gelecekte biyosensörlerin ve gaz sensörlerinin de gıda sektörü için önem kazanacağı düşünülmektedir. Gıdanın raf ömrü boyunca kimyasal ve mikrobiyolojik değişimlerini gözlemlemek amacıyla paketlenme malzemelerine bu tip sensörlerin entegre edildiği uygulamalar mevcuttur. Örneğin gıdanın bozulması sensördeki renk değişimiyle görülebilmektedir. Ambalajlar konusunda diğer bir örnek ise nanoparçacıklarla güçlendirilmiş, gıdanın taze ve daha uzun zaman korunmasına olanak tanıyan, düşük gaz geçirgenliği olan polimer ambalaj materyalleridir (Chaudry, 2010). Ambalaj malzemelerine gümüş, titanyum oksit gibi çeşitli nanoparçacıkların eklenerek ambalajın gıda ile temas eden yüzeyine antimikrobiyal özellikler kazandırılabilen ve geçirgenlik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Nanokompozitler sayesinde ambalaj materyallerinin oksijen ve karbondioksit geçirgenlikleri sınırlandırılarak gıdaların raf ömrü uzatılmakta ve raf ömrü boyunca kötü kokuların oluşumu engellenmektedir. Bu gibi nanoparçacıklarla üretilmiş antimikrobiyal filmlerin, yenilebilir film ve kaplamaların su ürünlerinin muhafazasında etkin koruma sağlayacağı düşünülmektedir (Joseph ve Morrison, 2006).

Nanoteknoloji sadece raf ömrünü uzatmaya değil aynı zamanda biyoaktif bileşenleri çevreden ve işlem değişkenlerinden korumaya, bunları yaparken gıdanın kalitesini düşürmemeye ve sindirim sonrası vücutta hedef bölgeye salınımına da odaklanmaktadır (Augustin ve Saguansri, 2006). Mikro besin öğelerinin fizyolojik ve kimyasal özellikleri, diğer besin bileşenleriyle etkileşimleri biyoyararlılıklarını etkileyebilmektedir. Son dönemlerde nanoteknolojinin gıda endüstrisindeki uygulama alanlarından biri de gıdaların besin öğelerince zenginleştirilmesi ve fonksiyonel ürün geliştirilmesidir. İlaç sektöründen edilen bilgilerle nanoteknolojiyi besin bileşenlerinin salımı gibi konularda gıdalarda kullanıma adapte etmek mümkündür. Bu sayede besin öğelerinin, vitaminlerin, minerallerin ve antioksidanların vücudun spesifik bölgelerine ve hücrelerine daha etkili ve verimli ulaşması sağlanarak bu bileşenlerin etkinliği ve biyoyararlılığı artırmak ve sağlıklı gıdalar üretmek mümkündür. Bu amaçlarla nanokapsül yapıları kullanılmaktadır. Nanokapsüllerin fonksiyonel bileşenler için taşıyıcı olarak kullanılmasıyla onları olumsuz çevre etkilerinden koruyup vücutta hedef bölgelere salınması mümkün olmaktadır (Schifmann ve Schauer, 2008).

Gıdaların besin öğelerince zenginleştirilmesinde nanoemülsiyonların kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır. Nanoemülsiyonlar, 20-200 nm boyutunda damlacıklara sahip olan sistemlerdir. Nanoemülsiyonlar aracılığı ile besin öğeleri ve fonksiyonel bileşenlerin vücutta kontrollü salınımını sağlamak için nanoemülsiyonların oluşum mekanizmaları ve yapıları iyi bilinmelidir (Gutierrez ve diğ., 2008).

Tüketicinin kendi ihtiyaçlarına göre modifiye ettiği interaktif gıdalar üzerine çalışmalar nanoteknolojinin gıda alanındaki uygulamalarının diğer bir kolunu oluşturur. Kızartılmak için yağa atıldığında belirli miktarda yağı bünyesine alan patatesler, kıvamı ve rengi ısıya göre istenen şekilde değiştirilen yiyecekler bu alandaki uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Protein, karbonhidrat ve yağ kaynaklı nanoparçacıklarla, gıda ürünlerine bileşim ve tekstür açısından istenilen özellikler kazandırılabilir. Nanoteknoloji yeni gıda ve yeni ambalaj ürünleri üretilebilmesi açısından büyük potansiyellere sahiptir. Nanomakineler kullanarak moleküler gıdalar üretme düşünceleri olmasına rağmen, bu yakın gelecekte gerçekleşebilecek bir durum değildir. Dünyada nanogıda teknolojileri gittikçe önem kazanmakta olsa da halk sağlığı ve çevre üzerine etkileri hakkında kesin bilgiler

edinilememiştir. Nanoteknolojik paketlenme, nanoteknolojik gıdaya göre daha az sorunlu olarak değerlendirilmektedir (Pray ve Yaktine, 2009).

5.1 Nanoliflerin Gıda Alanındaki Uygulamaları

Nanoliflerin hava ve su filtrasyonu, sensör üretimi ve kontrollü ilaç salınımı gibi alanlarda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır (Andrady,2008). Gıda alanında kullanımına dair herhangi bir çalışma henüz mevcut değildir. Diğer kullanım alanlarında yapılan çalışmalara bakıldığında gıda kaynaklı polimerlerin elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretiminde kullanıldığı görülmektedir. Aşağıdaki tabloda (Çizelge 5.1) gıda kaynaklı polimerlerin elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretiminde kullanıldığı çalışmalara dair bir özet sunulmuştur. Tabloda aljinat, dekstran, kitosan, selüloz gibi karbonhidratların ve gluten, jelatin, peyniraltı suyu proteinleri, zein gibi protein yapılarının elektrodöndürme yöntemi ile nanolif eldesinde kullanılabildiği görülmektedir. Gıda kaynaklı polimerlerle yapılan bu çalışmalarda uygulanan voltaj aralığı 1 ile 27 kV arasında, kullanılan debi 0,005 ml/dk ile 5 ml/s arasında plaka mesafesi ise 5 ile 18 cm arasında değişmektedir. Gluten, jelatin, zein, selüloz, kitosan gibi polimerler ile tek başlarına üretim yapılabilirken, dekstran ve aljinat gibi karbonhidratlarla yardımcı polimer kullanılmadan üretim gerçekleştirilememektedir. Gıda kaynaklı polimerlerle elde edilen nanolifler genel olarak tıp ve ilaç uygulamaları için kullanılmaktadır. Gıda kaynaklı polimerlerin nanolif üretiminde kullanımının 2004 yılından sonra yaygınlaştığı görülmektedir.

Çizelge 5.1: Doğal polimerlerden elde edilen nanolifler.

Polimer	Yardımcı Madde	Çözücü	Uygulanan Voltaj	Besleme Debisi	Plaka Mesafesi	Çalışmanın Amacı	Kaynak
Aljinat (%2)	Polivinil alkol (%8-10-12)	Su	15 kV	-	15 cm	Morfolojik ve mekanik özelliklerinin karakterizasyonu	Islam ve Karim, 2010
Aljinat (37-196 kDa) (%4-13,5)	Polietilen oksit (600 kDa)	Su	10-15 kV	0,50-0,75 ml/s	15 cm	Kontrollü ilaç salınımı	Bonino ve diğ., 2011
Aljinat	Polietilen oksit (100 kDa)	Su	20 kV	1 ml/s	10-30 cm	Doku mühendisliği	Ma ve diğ., 2011
Aljinat (%2)	Polivinil alkol (%16), Çinko oksit nanopartikülleri	Su	17 kV	0,1 ml/s	5 cm	Antibakteriyel özelliklerin incelenmesi	Shaluman ve diğ., 2011
Dekstran (64,000-76,000)	Polilaktit glikolit kopolimeri	Dimetil formamid, dimetil sülfoksit	20-40 kV	5-100 ml/dk	-	Morfolojik karakterizasyon	Jiang ve diğ., 2004
Dekstran (8500-11500)	Poliüretan (111,000 Da)	Dimetil formamid	27 kV	5 ml/s	15 cm	Siprofloksasin salınımı ve antibakteriyel özelliklerin incelenmesi	Unnithan ve diğ., 2012
Gluten	-	Asetik asit, hekzafloro propanol	25 kV	5 ml/s	10-12 cm	Morfolojik karakterizasyon	Woerdeman, 2005
Jelatin (A) (%2,5-5-7,5-10-12,5-15)	-	Trifloro etanol	10-16 kV	0,8 ml/s	12 cm	Mekanik özelliklerin karakterizasyonu	Huang ve diğ., 2004

Çizelge 5.1(devam) : Doğal polimerlerden elde edilen nanolifler.

Jelatin (A) (%10)	-	Trifloro etanol	10 kV	0,8 ml/s	13 cm	Morfolojik, termal ve biyolojik karakterizasyonlar, sitotoksosite çalışmaları	Zhang ve diğ., 2006
Jelatin (A) (%17)	Polivinil alkol (%10)	Formik asit	30 kV	-	10 cm	Kontrollü ilaç (ahududu ketonu) salınımı	Yang ve diğ., 2007
Jelatin (A) (10)	Polilaktik- glikolik asit (200,000 Da)	Trifloro etanol	7 kV	0,5 ml/s	10 cm	Doku mühendisliği	Meng ve diğ., 2010
Jelatin (Balık)	Poli-L-laktid (10,000 Da)	Formik asit, dkloro metan	16 kV	-	12 cm	Morfolojik ve mekanik özelliklerin karakterizasyonu	An ve diğ., 2010
Jelatin	Polilaktik glikolik asit (200,000 Da)	Trifloro etanol, su	10 kV	0,5 ml/s	10 cm	Kontrollü ilaç (fenbufen) salınımı	Meng ve diğ., 2011
Jelatin	Polilaktit – kaprolakton, kalsiyum, fosfat, apatit	Trifloro etanol	10 kV	0,4 ml/s	15 cm	Kemik dokusu taklidi	Jegal ve diğ., 2011
Jelatin (A) (%30)	-	Asetik asit, su	15 kV	0,005 ml/dk	15 cm	Morfolojik karakterizasyon	Panzavolta ve diğ., 2011
Kitosan	Polivinil alkol	Asetik asit, su	18 kV	-	25cm	Hidrolizasyonun morfolojiye etkisinin incelenmesi	Li ve Hsieh, 2006
Kitosan	Poliyeten oksit (850,000 Da), hidroksiapatit	Asetik asit, dimetil sülfoksit	17,5kV	20 ml/dk	34 cm	Kemik dokusu taklidi	Zhang ve diğ., 2008
Kitosan (1000 kDa) (%1,6)	Poliyeten oksit (900 kDa)	Asetik asit, su	20 kV	0,02 ml/dk	10 cm	Morfolojik ve fizikokimyasal özelliklerin incelenmesi	Kriegel ve diğ., 2008
Kitosan	-	Asetik asit, su	17 kV	1,6 ml/s	16 cm	İşlem parametrelerinin optimizasyonu	Homayoni ve diğ., 2009
Kitosan	Bakır ve kurşun iyonları	Trifloroasetik asit	20 kV	0,5 ml/s	15 cm	Filtre üretimi	Haider ve Park, 2009

Çizelge 5.1(devam) : Doğal polimerlerden elde edilen nanolifler.

Kitosan (1000 kDa)	Polietilen oksit (900 kDa)	Asetik asit	20 kV	0,02 ml/dk	10 cm	Morfolojik ve termal karakterizasyon	Kriegel ve diğ., 2009
Kitosan	Naylon	Formik asit	22 kV	5 ml/s	15cm	Tıbbi uygulamalar	Nirmala ve diğ., 2011
Kitosan (68-148 kDa)	Polietilen oksit (900 kDa)	Asetik asit, su	25 kV	0,03 ml/dk	20 cm	Morfolojik karakterizasyon	Ziani ve diğ., 2011
Kitosan (690000 g/mol)	Polilaktik asit (200000 g/mol)	Asetik asit, trifloroasetik asit	18 kV	5 ml/s	12 cm	Antibakteriyel özelliklerin belirlenmesi	Nguyen ve diğ., 2011
Peyniraltı suyu proteinleri	Gliserol	Sodyum hidroksit, sitrik asit, su	14 kV	0,3 ml/s	7 cm	β – karoten enkapsülasyonu	Lopez-Rubio ve Lagaran, 2012
Selüloz	-	Dimetil asetamid, su	1–4 kV	0,05 ml/s	10-20 cm	Morfolojik karakterizasyon	Kim ve diğ., 2006
Selüloz asetat (30,000 Da) (%10)	Gümüş nanopartikülleri	Aseton, su	17 kV	3 ml/s	10 cm	Antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi	Son ve diğ., 2006
Selüloz asetat (30,000 Da) (%5-8)	-	Aseton	17,5 kV	1 ml/s	15 cm	A ve E vitaminlerinin kontrollü salınımı	Taepaiboon ve diğ., 2007
Selüloz asetat (30,000 Da)	-	Asetik asit, su	25 kV	3 ml/s	10 cm	Farklı çözelti kompozisyonlarının nanolif morfolojisine etkisinin incelenmesi	Han ve diğ., 2007
Selüloz asetat (30000 g/mol) (%15)	-	Aseton, dimetil asetamid	15 kV	1 ml/s	-	Tıbbi uygulamalar	Zhang ve diğ., 2008

Çizelge 5.1(devam) : Doğal polimerlerden elde edilen nanolifler.

Selüloz asetat (30,00 Da) (%20)	Hidroksiapatit	Aseton, dimetil asetamid	0,8 kV	1,2 ml/dk	-	Kemik dokusunun taklit edilmesi	Li ve diğ., 2012
Soya proteini	Polivinil alkol (78,000)	Sodyum hidroksit, su	15 kV	0,9 ml/s	15 cm	Mekanik özelliklerin karakterizasyonu, biyobozunurluğun kontrolü	Cho ve diğ., 2012
Yumurta albumini (14-76 kDa), selüloz asetat (30 kDa)	Tween 40 (surfaktan)	Asetik asit, formik asit	15 kV	2,2 ml/s	15 cm	Kontrollü ilaç salınımı	Wongsasulak ve diğ., 2010
Zein	-	Etanol, asetik asit	7-9-11-13-15-17 kV	0,10-0,18-0,27-0,37-0,46-0,50 ml/s	5-7,5-10-12,5-15-17,5 cm	İşlem parametrelerinin morfolojik ve termal özelliklere etkisinin incelenmesi	Torres-Giner ve diğ., 2008
Zein	Siklodekstrin	Dimetil formamid	15 kV	0,5 ml/s	12 cm	Morfolojik ve termal özelliklerin karakterizasyonu	Kayacı ve Uyar, 2012
Zein	-	Su	25 kV	1 ml/s	18 cm	Kontrollü ilaç salınımı, histolojik çalışmalar	Karthikeyan ve diğ., 2012
Zein	Polivinil prolidin (360,000 Da)	Dimetil asetamid, etanol, su	15 kV	-	15 cm	Kontrollü ilaç (ketoprofen) salınımı	Jiang ve diğ., 2012
Zein	-	Etanol, su	12 ve 18 kV arası	0,3 ve 2 ml/s arası	10 ve 16 cm arası	İşlem parametrelerinin nanolif morfolojisine etkisinin incelenmesi	Neo ve diğ., 2012

6. EMÜLSİYONLAR

Emülsiyonlar karışmayan iki sıvının (genellikle su ve yağ) birbiri içinde damlacıklar halinde dağıldığı sistemlerdir. Dağılan ve sürekli faza göre basit olarak su içinde yağ (Y/S) ve yağ içinde su (S/Y) emülsiyonları olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (McClements, 1999). Emülsiyon tipi genellikle Bancroft kuralına göre belirlenir ve aynı zamanda iki fazın sistem içindeki oranına bağlıdır. Bancroft kuralına göre su fazında daha iyi çözünen sürfaktanlar ile Y/S emülsiyonları, yağ içinde daha iyi çözünen sürfaktanlar ile S/Y emülsiyonları hazırlanır. Proteinler daha çok suda çözündüklerinden Y/S emülsiyonları oluştururlar (Milton, 1989). Y/S emülsiyonlarında sürekli faz su dağılan faz yağdır. Gıdalardan bu emülsiyonlara örnek olarak süt, mayonez ve salata sosları verilebilir. S/Y emülsiyonlarında ise dağılan faz su sürekli faz yağdır. Bu gruba gıdalardan örnek olarak margarin ve tereyağı gösterilebilir. Birçok gıda emülsiyonunda dağılan faza ait damlacık çapı 0,1 ve 100 µm arasında değişmektedir (McClements, 1999). Dağılan fazın damlacık boyutuna göre emülsiyonlar nanoemülsiyonlar (veya mikroemülsiyonlar) (10-100 nm), miniemülsiyonlar (100-1000 nm) ve makroemülsiyonlar (0,5-100 µm) olarak üç gruba ayrılırlar (Windhab ve diğ., 2005). Emülsiyonlar termodinamik olarak stabil olmayan sistemlerdir. Dağılan fazın sürekli faz içerisinde kinetik olarak anlamlı bir süre boyunca stabil kalabilmesi için emülsifiye edici veya kıvam artırıcı maddelere ihtiyaç vardır (McClements, 1999).

Emülsifiye ediciler dağılan fazın çeperlerine adsorbe olarak emülsiyonu stabil hale getiren amfifilik (hem hidrofilik hem hidrofobik özellikler taşıyan) bileşenlerdir. Adsorbe olan bileşen sayesinde damlacıkların etrafında bir çeper oluşmakta ve bu çeper damlacıkların bir araya gelmesini engellemektedir. Kıvam artırıcılar ise sürekli fazın viskozitesini artırarak dağılan fazın stabil kalmasını sağlayan bileşenlerdir (Perrechil ve Cunha, 2010). Emülsifiye ediciler emülsiyonlarda stabiliteyi sağlama şekillerine göre dört gruba ayrılmaktadırlar. İlk grup yüzey aktif olmayan iyonlardan meydana gelir. Bu maddeler dağılan fazın çeperlerine adsorbe olarak sistemdeki ara

yüzey gerilimine etki etmeden stabiliteyi sağlarlar. İkinci grubu silika ve kil gibi yüzey aktif olmayan kolloidal bileşenler oluşturur. Bu maddeler dağılan fazın çeperinde fiziksel bariyer oluşturarak damlacıkların floküle olmasını engellerler. Üçüncü grubu siloksan esaslı surfaktanlar gibi monomerik surfaktanlar oluşturmaktadır. Monomerik surfaktanlar yüzeylerarası gerilimi düşürerek stabiliteyi sağlar. Toksik özelliklere sahip olduklarından gıdalarda kullanımı mümkün değildir. Son olarak dördüncü grup polimer emülsifiye edicilerden oluşmaktadır. Bu polimerler yüzeylerarası gerilimi düşürerek, dağılan fazın çeperlerinde elektrostatik bariyer oluşturarak ve sürekli fazın viskozitesini yükselterek emülsiyon stabilitesini sağlamaktadırlar. Proteinler ve polisakkaritler gibi biyopolimerler bu gruba dahildir ve birden çok etki mekanizması ile emülsiyon stabilitesini sağlarlar (Bouyer ve diğ., 2012). Proteinler çeşitli doğal kaynaklardan ekstrakte edilebilmektedir. Amfifilik karakterleri nedeni ile su ve yağ fazına bağlanarak gıda emülsiyonlarının oluşumunu kolaylaştırır, yağ su ara yüzey gerilimini düşürür, dağılan fazdaki damlacıklarının çeperinde elektriksel çift tabaka oluşturarak elektrostatik ve sterik itme kuvvetleri ile yağ damlacıklarının floküle olmasını engellerler. Aynı zamanda gıdaya istenen fizikokimyasal özellikleri sağlarken su içinde dağılan yağ damlacıklarını oksidasyona karşı korurlar. Tüm bu özellikleri nedeni ile gıda emülsiyonlarının üretiminde sıklıkla kullanılmaktadırlar (Surh ve diğ., 2006).

Jelatin genellikle domuz, sığır ve balık derisinden elde edilen kolajenin asidik veya alkali ortamlarda hidrolize edilmesiyle üretilen yüksek moleküler ağırlığa sahip bir proteindir. Kolajenin asit ortamında hidrolize edilmesiyle üretilen jelatin A tipi jelatin olarak, kollajenin alkali ortamda hidrolize edilmesiyle elde edilen jelatin ise B tipi jelatin olarak bilinmektedir (Ledward, 1986). Jelatin emülsifiye ve stabilize edici, reolojik özellikleri modifiye edici, su bağlayıcı ve film oluşturucu özellikleri nedeni ile gıda endüstrisinde geniş uygulama alanlarına sahiptir (Sovilj ve diğ., 2013). Jelatin suda çözünmesi nedeniyle su içinde yağ emülsiyonlarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. A tipi jelatinin izoelektrik noktası (pI) 7 ve 9 arasında iken B tipi jelatinin izoelektrik noktası 5 değerindedir. Bu fark A tipi jelatinin daha geniş pH aralığında yani daha çeşitli gıda emülsiyonu üretiminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak B tipi jelatinin izoelektrik noktası genel olarak gıda emülsiyonlarındaki su fazının pH değerine yakın olduğundan kullanımı çok yaygın değildir. Her iki tip jelatin de tek başlarına emülsifiye edici olarak

kullanıldığında diğer proteinlere oranla homojenizasyon esnasında daha büyük yağ damlacıklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle gıda emülsiyonlarına katılmadan önce jelatinin özellikleri modifiye edilmektedir (Surh ve diğ., 2006).

6.1 Emülsifikasyon

Emülsifikasyon mekanik enerji yardımıyla birbiriyle karışmayan iki bileşeni birbiri içinde disperse ederek emülsiyon üretimini sağlayan karmaşık bir işlemdir. İstenen fizikokimyasal kaliteye sahip emülsiyon üretimi emülsifikasyon işleminde uygulanan parametreler ile doğrudan ilgilidir (Khopkar ve diğ., 2009). Emülsiyonlar tek aşamalı ya da birden fazla aşamalı emülsifikasyona tabi tutularak üretilmektedirler. Emülsifikasyon işlemini gerçekleştirmeyi sağlayan araçlara verilen genel adı homojenizatördür. Homojenizatör tipinin seçimi son üründe istenen fizikokimyasal özelliklere, emülsiyonda dağılan faza ait olması gereken damlacık boyutuna, üretime katılan hammaddelerin seçimine, üretim maliyetine ve üretimin gerçekleştirileceği koşullara göre değişmektedir. Üretimde genel olarak altı farklı homojenizatör tipi kullanılmaktadır. Bunlar; yüksek hızlı karıştırıcılar, kolloid değirmenler, yüksek basınçlı homojenizatörler, ultrasonik homojenizatörler, mikroakışkanlaştırıcılar ve membran homojenizatörlerdir. Yüksek hızlı karıştırıcılar gıda emülsiyonu üretiminde en yaygın kullanılan homojenizatörlerdir. Dakikada yüksek devirler sayesinde yağ ve su fazının ara yüzey gerilimini düşürerek birbirleri içinde dağılmasını ve emülsiyon üretimini sağlarlar. Üretim boyunca zamanla dağılan fazın damlacık boyutunu küçültürler. Yüksek hızlı karıştırıcılar genel olarak dakikada 20 ile 2000 devir yapar ve dağılan fazın damlacık boyutunu 2 ile 10 μm ' ye kadar düşürürler. Düşük ve orta derecede viskoziteye sahip gıda emülsiyonlarının üretimi için uygundur. Üretim mekanik enerji ile gerçekleştiğinden zamanla emülsiyonda sıcaklığın yükselmesine neden olurlar. Üretime katılan hammaddeler sıcaklığa duyarlı ise üretim boyunca sıcaklığın düşürülmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Kolloid değirmenler orta ve yüksek viskozite değerlerine sahip gıda emülsiyonlarının üretimi için kullanılmaktadır. Üretime katılan yağ ve su birincil emülsiyon üretildikten sonra kolloid değirmene beslenirler. Yağ ve suyun birbiri içinde karışmasını değil karışım halindeki birincil emülsiyonun damlacık boyutunun küçülmesini sağlarlar. Yani ikincil emülsifikasyon işlemini gerçekleştirirler. Kolloid değirmenin dakikada 1000 ile 20000 arası devirlerde dönen kısmı emülsiyonda yüksek kayma gerilimleri

oluşturarak damlacık boyutunun 1 μm 'ye kadar düşmesini sağlar. Yüksek basınçlı homojenizatörler çok küçük damlacık boyutna sahip düşük ve orta değerlerde viskozitede gıda emülsiyonlarının üretimini sağlarlar. Kolloid değirmenler gibi ikincil emülsifikasyon işleminde kullanılırlar. Birincil emülsiyon yüksek basınçlı homojenizatöre bir pompa yardımı ile beslenir ve daralan valflerden geçmesiyle damlacık boyutu 0,1 μm 'ye kadar düşürülür. Yüksek basınçlı homojenizatörlerin basınç değeri 3 ile 20 MPa arasında değişmektedir. Ultrasonik homojenizatörler 20 ile 50 kHz frekanslarında ses dalgalarının oluşturduğu kavitasyone etki ile gıda emülsiyonlarının üretimini sağlarlar. Genel olarak endüstriyel boyutta 0,1 ile 1 μm damlacık boyutuna sahip düşük ve orta viskozitede gıda emülsiyonlarının üretiminde kullanılmaktadırlar. Mikroakışkanlaştırıcılar 0,1 μm 'den daha küçük boyutlarda damlacıklara sahip gıda emülsiyonlarının üretimini sağlarlar. Sisteme ayrı kanallardan beslenen su ve yağ yüksek hızla bu kanallardan geçirilerek daralan ortak bir kanalda birbirine karıştırılırlar. Emülsiyon istenen damlacık boyutu sağlanana kadar birkaç kez üretim çemberinden geçirilir. Düşük ve orta viskozite değerlerindeki gıda emülsiyonlarının üretiminde kullanılırlar. Membran homojenizatörler içindeki cam malzemeden elde edilen üniform por boyutlarına sahip membranlardan geçirilen su ve yağ zamanla birbiri içinde dağılırarak emülsiyon oluşturur. Dağılan fazın damlacık boyutu mebranların por boyutlarına göre değişmektedir. Genel olarak üretilen emülsiyonda damlacık boyutu 0,3 ile 10 μm arasında değişir (McClements, 1999).

6.2 Emülsiyonların Karakterizasyonu

6.2.1 Zeta potansiyeli (ζ)

Emülsiyon damlacıklarının dış yüzeyinde oluşan elektriksel tabaka emülsiyonun zeta potansiyelini belirler. Birimi milivolt (mV) cinsinden ifade edilmektedir. Zeta potansiyeli emülsiyonun stabilitesi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Bouyer ve diğ., 2012). Emülsiyonun stabilitesini kontrol edebilmek için zeta potansiyelinin kontrol edilmesi gerekmektedir (Cho ve diğ., 2012). Zeta potansiyelinin yükü elektriksel tabakanın yüküne, büyüklüğü ise elektriksel tabakanın kalınlığına bağlıdır. Stabil bir emülsiyon elde edebilmek için zeta potansiyelinin -25 mV'den küçük veya +25 mV'den büyük olması gerekmektedir. Sıfır noktası proteinler için izoelektrik noktayı temsil etmektedir. Zeta potansiyelinin sıfıra ulaştığı pH değerinde

proteinlerin stabilitesi bozulmakta ve çökelmeler gerçekleşmektedir. Zeta potansiyelinde eksi ve artı yöndeki artış emülsiyon kararlılığında artışı göstermektedir. Zeta potansiyelindeki bu artış elektriksel tabakanın kalınlaştığı anlamına gelmektedir. Bu da damlacıkların biraraya gelip floküle olmasını engellemekte ve emülsiyonun daha uzun süre stabil kalmasını sağlamaktadır (Srinivasan ve diğ., 2010). Emülsiyonlarda zeta potansiyelinin sıfıra yaklaşması ile damlacıklar biraraya gelerek floküle olur ve serum ayrışması gerçekleşir. Emülsiyonlarda zeta potansiyeli elektroforez, elektroakustik ve dinamik ışık saçılımı gibi tekniklerle tespit edilmektedir (McClements, 1999).

6.2.2 Damlacık boyutu ve dağılımı

Emülsiyonda dağılan faza ait damlacık boyutu ve damlacık boyutu dağılımı emülsifikasyon işlemi ile doğrudan ilişkili olan, emülsiyonun kalitesine etki eden önemli bir parametredir. Lazer difraksiyonu, optik mikroskoplar dinamik ışık saçılımı gibi birçok teknik ile dağılan faza ait damlacık boyutunu belirlemek mümkündür (Bouyer ve diğ., 2012). Dinamik ışık saçılımı diğer yöntemler ile tespit edilemeyen çok küçük boyutlara sahip damlacıkların karakterize edilebilmesini sağlaması nedeniyle diğer tekniklere nazaran daha çok tercih edilmektedir. Bu teknik ile 3 nm ile 3 µm arasındaki damlacık boyutlarını tespit etmek mümkündür. Damlacık boyutu ve dağılımı son üründe tekstür, aroma, stabilite ve maliyet gibi özellikleri etkilemektedir. Emülsiyonun içinde dağılan tüm damlacıklar aynı boyutlara sahipse bu tip emülsiyonlar monodispers, geniş bir boyut aralığına sahipse polidispers emülsiyonlar olarak adlandırılmaktadır. Üretimde kullanılan homojenizatörün tipine göre damlacık boyutları genel olarak 0,1 ile 2 µm arasında değişmektedir (McClements, 1999). Emülsiyonların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olarak stabil olmaları istenir. Fiziksel olarak stabil emülsiyonlar zamanla damlacık boyutlarında değişimin olmadığı ve faz değişiminin yaşanmadığı emülsiyonlardır. Emülsiyonların daha stabil hale gelmesi için daha fazla emülsifiye edici bileşenlerin eklenmesi ya da yüksek basınç ve ultrases homojenizatörlerinin kullanılması ile emülsiyonların damlacık boyutları küçültülmeye çalışılmaktadır. Gıdaların üretiminde proses boyunca damlacıkların maruz kaldığı basınç etkileri sonucunda oluşan flokülasyonu engellemek içinse tüm damlacık boyutlarının eşit aralıkta olduğu emülsiyonlar üretilmeye çalışılmaktadır (Schubert ve Engel, 2004).

6.2.3 Türbidite

Türbidite yani bulanıklık emülsiyonların görünüşünü etkileyen önemli bir parametredir. Gıda emülsiyonlarının türbiditesi damlacık boyutuna, damlacık boyut dağılımına ve damlacıkların refraktif indeksine göre değişkenlik göstermektedir (McClements, 1999). Genellikle damlacık boyutundaki artışa paralel olarak türbiditede artış gözlemlenmektedir (McClements, 2002; Lee ve McClements, 2010). Absorbans ölçümü ile türbiditenin hesaplanabildiği formül (6.1) aşağıdaki gibidir;

$$T = 2,303 \cdot A \cdot V / L \quad (6.1)$$

Bu formülde T türbidite (m^{-1}), A belirli bir dalga boyunda ölçülen absorbans değeri, V dilüsyon faktörü ve L ölçüm küveti yolu (m)' dur (Wang ve diğ., 2010).

6.2.4 Yüzey gerilimi

Emülsiyonların yüzey gerilimi tensiyometreler ile Du Nouy Halkası ve Wilhelmy Tabakası metodları kullanılarak ölçülebilmektedir. Emülsiyonlara daldırılan halka veya plakaya ters yönde uygulanan itme kuvveti milinewton/metre (mN/m) cinsinden yüzey gerilimini vermektedir (Bouyer ve diğ., 2012). Emülsifiye ediciler yağ ve su ara yüzey gerilimini düşürerek emülsiyonun yüzey gerilimini düşürmektedirler. Emülsifiye edicinin konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilimi düşüş göstermektedir. Ancak bir noktadan sonra dağılan faz çeperindeki emülsifiye edici madde maksimum düzeye ulaşmakta ve yüzey gerilimindeki düşüş durmaktadır. Yüzey geriliminin sabitlendiği bu noktadan yola çıkarak emülsiyonların doymunluğa ulaştığı emülsifiye edici madde konsantrasyonunu tespit etmek mümkündür (McClements, 1999).

6.2.5 Reolojik özellikler

Emülsiyonların reolojik özelliklerine bileşenlerin oranları, dağılan faz ve sürekli fazın viskoziteleri, hammaddelere ait kimyasal özellikler ve damlacık şekli ve boyutu gibi birçok faktör etki etmektedir. Reometreler ile yürütülen akış, kayma ve osilasyon deneyleri ile emülsiyonların reolojik özelliklerini tespit etmek mümkündür (Bouyer ve diğ., 2012). Uygulanan kuvvete karşı emülsiyonda oluşan deformasyon reolojik özellikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Gıdalar kompleks bileşenlerden oluştuğu için birçok farklı reolojik davranış göstermektedir. Gıda emülsiyonlarına uygulanan reolojik karakterizasyonlar genel olarak gıdanın akış özelliklerini

karakterize etmek üzerinedir. Reolojik özelliklerin karakterizasyonu ile gıda üretim prosesini kontrol etmek ve değiştirmek mümkündür (McClements, 1999).

Reolojik karakterizasyonlar proses dizaynı, yeni gıda formülasyonları, kalite kontrolü, proses boyunca gıdanın yapısındaki değişimler ve raf ömrü boyunca gösterdiği değişimler gibi konularda bilgi sağlamaktadır. Gıdaların karakterizasyonunda kullanılan reometreler belirli bir kayma hızı aralığında üründe oluşan deformasyonu karakterize edebilmeyi sağlar. Uygulanan kuvvete karşı örneğin verdiği cevap genel olarak Newton, Ostwald-De Waele, Bingham, Herschel-Bulkley ve Casson gibi eşitlikler kullanılarak modellenir. Ostwald De Waele eşitliği akış karakteri hakkında bilgi verir. Bu eşitlik genel olarak gıdanın üretimi, bir yerden bir yere iletilmesi, ısıtılması, soğutulması ve buharlaştırılması sırasındaki davranışlarını karakterize edebilmeyi sağlar. Literatürde yapılan birçok çalışmada meyve suları, meyve konsantreleri, meyve püreleri, reçeller ve soslar gibi ürünlerin akış karakterini analiz edebilmek için kullanılabilecek en iyi model olduğu belirtilmiştir. Ostwald De Waele eşitliği (6.2) aşağıdaki gibidir;

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (6.2)$$

Bu denklemde τ kayma gerilimi (Pa), K kıvam indeksi (Pa sⁿ), $\dot{\gamma}$: kayma hızı (s⁻¹) ve n akış davranış indeksi (-)'dir (Velez-Ruiz, 2009).

Eşitlikteki n değeri emülsiyonların akış karakteri hakkında önemli bilgi sağlar. n değerinin bire eşit olması (n=1) emülsiyonun Newtonyen karaktere sahip olduğu, birden küçük olması (n<1) zamanla viskozitesinin azaldığı (psödoplastik), birden büyük olması (n>1) ise zamanla viskozitesinin arttığı (dilatant) anlamına gelmektedir (Anton ve diğ., 2001).

Newtonyen karakterdeki emülsiyonlarda kayma gerilimi uygulanan gerilim ile doğru orantılıdır. Yani uygulanan kuvvet ile özelliklerinde bir değişme olmamaktadır, sıkıştırılabilir değildirler ve homojendirler. Birçok gıda emülsiyonu Newtonyen olmayan davranış gösterir, verdikleri cevap uygulanan kayma hızı ve zamanına göre değişir. Viskoziteleri kayma hızı arttıkça azalır veya artar. Bu nedenle ölçümlerin hangi kayma hızı aralığında yapıldığı önemlidir. Ürünün borudan akışı, emülsiyonun kremleşmesi gibi durumlarda oluşan değişimlerin doğru olarak karakterize edilebilmesi için kayma hızının doğru aralıkta seçilmesi gerekmektedir. Newtonyen olmayan emülsiyonlar psödoplastik ve dilatant olmak üzere iki tür davranış gösterir.

Psödoplastik davranış modeli birçok gıda emülsiyonun gösterdiği davranış şeklidir. Bu davranış şeklinde kayma hızı arttıkça viskozitede azalma görülür. Kayma hızının uygulandığı sırada damlacıkların uygulanan gerilim ile değişmesi, akış yönünde dizilmesi ve emülsiyonda bağlı moleküllerin birbirinde kopması sonucu psödoplastik davranış görülmektedir. Gıdalarda dilatant davranışa çok nadir rastlanmaktadır. Bu davranışı gösteren emülsiyonlarda kayma hızının artmasıyla viskozite artmaktadır. Konsantre emülsiyonlarda veya süspansiyonlarda damlacıkların veya partiküllerin uygulanan gerilime karşılıklı birbirlerine sıkıca yapışması sonucu gözlemlenmektedir. Emülsiyonlarda zamanla flokülasyonun oluşması sonucunda da gözlemlenebilir (McClements, 1999).

6.2.6 Kremleşme indeksi

Serum ayrışması ile ölçülen kremleşme indeksi emülsiyonun stabilitesi hakkında bilgi sağlamaktadır. Kremleşme indeksi belirli bir süre boyunca (gıda emülsiyonlarında 15 gün) uygun koşullarda emülsiyonların depolanması sonucu serum ayrışmalarının takip edilmesiyle veya emülsiyonda yüzeylerarası bağları kırarak hız ve sürede santrifüjleme işlemi ile tespit edilebilmektedir. Emülsifiye edici bileşenlerin etkinliği bu yöntem ile ölçülebilmektedir. Yüksek kremleşme indeksi veya serum ayrışması emülsiyonun stabil olmadığı ve emülsifiye edici bileşenin etkisinin düşük olduğu anlamına gelmektedir (McClements, 1999). Emülsiyon damlacıklarının sistem içindeki serbest hareketleri (Brownian hareketi) damlacıkların zamanla veya fiziksel bir etki sonucunda birbirlerine çarparak floküle olmalarına neden olur. Her çarpışma flokülasyona neden olmamaktadır. Ancak çarpışma sonucu floküle olan damlacıklar serum ayrışmasına ve kremleşmeye neden olur (Jafari ve diğ., 2008). Kremleşme indeksi aşağıdaki formülle (6.3) hesaplanabilmektedir;

$$KI = (H/H_0) \times 100 \quad (6.3)$$

Bu denklemde H ayrışan serumun cm cinsinden yüksekliği ve H_0 ise toplam emülsiyon yüksekliğidir (Perrechil ve Cunha, 2010; Keowmaneechai ve McClements, 2002).

Süt, tereyağı, margarin, meyve suları, çorbalar, mayonez, salata sosları ve dondurma gibi bir çok gıda kısmen ya da tamamen emülsiyon halinde bulunmaktadır. Emülsiyon halinde bulunan gıdaların istenen organoleptik ve fizikokimyasal özelliklerde üretilebilmesi uygun hammaddelerin seçimine ve üretim koşullarına

bağlıdır. Bunun yanında istenen gıdanın düşük maliyetlerde üretiminin sağlanabilmesi için seçilen hammadde ve üretim koşulları üzerine yoğun araştırmaların yürütülmesi gerekmektedir (McClements, 1999).

6.3 Hipotez

Elektrodöndürme yönteminde kullanılan farklı işlem parametrelerinin nanolif morfolojisinde, zeta potansiyelinde ve difüzyon katsayısında farklılıklara neden olacağı bu çalışmanın birinci hipotezidir.

İkinci olarak da bu çalışmada elektrodöndürme yöntemi ile üretilen jelatin nanoliflerinin birim hacme oranla geniş yüzey alanına ve yüksek yüzey aktivitesine sahip olmaları nedeni ile Y/S emülsiyonlarında stabiliteyi normal jelatine göre daha etkin şekilde sağlayacağı öngörülmüştür.

7. MATERYAL ve METOD

7.1 Materyal

Bu çalışmada polivinil alkol (PVA) (Bereket Kimya, Türkiye), ksantan gum (Neimenggu Fufeng Biotechnologies Co. LTD, NH110708014, Çin), pektin (Seyidoğlu, Türkiye), sodyum aljinat (SA) (Rotel İç ve Dış Tic. A.Ş.), inülin (ABD), nişasta (Sözer Gıda Ürünleri Tic. San. A.Ş., Türkiye), κ-karragenan (FMC, Gelcarin GP812, ABD), karboksimetil selüloz (Acıpayam Selüloz Sanayii ve Tic. A.Ş., Türkiye), B tipi jelatin (Sigma, G9382-500G, ABD), % 100 asetik asit (Sigma-Aldrich, 27225, ABD), etanol (%96, AYS Kimya, Türkiye) kullanılmıştır. Emülsiyonlarda kullanılan ayçiçek yağı Aymar Yağ ve Gıda San. Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir.

7.2 Metod

7.2.1 Elektrodöndürme cihazına beslenecek çözeltilerin hazırlanması

Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltilerin konsantrasyonları ve hazırlanmaları Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltiler.

Polimer	Yardımcı madde	Çözücü	Karıştırma sıcaklığı (°C)	Karıştırma süresi (saat)
PVA (% 6)	-	Su	80	2
PVA (% 8)	-	Su	80	2
Ksantan gum (% 0,2)	-	Su	60	1
Pektin (%2)	-	Su	Ortam sıcaklığı	1
Aljinat (%3)	-	Su	80	2
İnülin (%5)	-	Su	30	½

Çizelge 7.1 (devam): Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltiler.

Nişasta (%3)	-	Su	80	2
Karboksimetil selüloz	-	Asetik asit - su	50	16
JelatinB (%7)	-	Asetik asit - su	40	4
JelatinB (%20)	-	Asetik asit - su	40	4
% 0,2 Ksantan gum	% 6 PVA (8)	Su	-	-
(2)				
% 2 pektin (4)	% 6 PVA (6)	Su	-	-
% 3 aljinat (4)	% 6 PVA (6)	Su	-	-
% 5 inülin (4)	% 6 PVA (6)	Su	-	-
% 3 nişasta (4)	% 6 PVA (6)	Su	-	-
% 0,2 Ksantan gum,	-	Su - Asetik asit	-	-
%2				
Karboksimetilselüloz				
(2:8)				
% 5 İnülin, % 2	-	Su - Asetik asit	-	-
Karboksimetilselüloz				
(8:2)				
% 0,2 ksantan gum	% 1 tuz (2)	Su	-	-
(8)				
% 0,2 ksantan gum, %	-	Su - Asetik asit	-	-
20 Jelatin (2:8)				

7.2.2 Çözeltilerin elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesi

Elektrodöndürme cihazına beslenecek çözeltilerin elektriksel iletkenlikleri elektriksel iletkenlik ölçer (WTW LF95, Almanya) ile ortam sıcaklığında iki tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

7.2.3 Çözeltilerin yüzey gerilimlerinin ölçülmesi

Elektrodöndürme cihazına beslenecek çözeltilerin yüzey gerilimleri tensiyometre (Dataphysics DCAT, Almanya) ile ortam sıcaklığında Wilhelmy Plate tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler iki tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Dataphysics SCAT (Almanya) yazılımı ile değerlendirilmiştir.

7.2.4 Çözeltilerin reolojik karakterizasyonu

Elektrodöndürme cihazına beslenecek jelatin çözeltilerinin reolojik özellikleri reolojik karakterizasyonu reometre ile (HAAKE RheoStress 1, Almanya) 25° C' de, 0 ile 200 s⁻¹ kayma hızı aralığında ve paralel plaka sensörü (çap = 35 mm, gap = 1

mm) kullanılarak, iki tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler RheoWin3 Data Manager (Haake, Almanya) yazılımı kullanılarak Denklem 6.2'ye göre yapılmıştır.

7.2.4 Elektrodöndürme cihazı

Hazırlanan çözeltiler nanolif üretimi için elektro döndürme cihazına beslenmiştir. Uygulanan voltaj 25 ile 35 kV, kullanılan debi 0,1 ile 3 ml/s, plaka mesafesi ise 5 ile 15 cm arasında değişmektedir.

SEM karakterizasyonu yapılacak jelatin örneklerinin üretiminde seçilen parametreler ise şöyledir;

Uygulanan voltaj : 28 ve 35 kV

Kullanılan debi : 0,1 ve 1 ml/s

Plaka mesafesi : 10 cm

Üretim süresi : 10 dk

Çözeltinin pompalandığı boru kalınlığı : 4×5 cm

Çözeltinin püskürtüldüğü ucun iç çapı : 1mm

Hazırlanan çözeltiler nanolif üretimi için elektro döndürme cihazına beslenmiştir. Y/S emülsiyonlarında kullanılacak jelatin nanolifinin eldesi için uygulanan voltaj 18 kV, debi 1ml/h ve toplayıcı plaka mesafesi 10 cm olarak seçilmiştir. TEM karakterizasyonu yapılan örnekte üretim süresi 10 dk'dir.

7.2.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Elde edilen örneklerin morfolojik özellikleri ve nanolif çapları SEM ile (Jeol JSM-7000F, Japonya) incelenmiştir. Elde edilen örneklerin numaralandırması Çizelge 7.2'de verildiği gibidir.

7.2.6 Nanoliflerin difüzyon katsayısı ölçümleri

Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen örneklerin difüzyon katsayıları dinamik ışık saçılımı tekniği ile (MALVERN ZetaSizer Nano-ZS, İngiltere) 25° C'de ölçülmüştür. Ölçümler iki tekrarlı olacak şekilde, her üretimden 10 dk sürede elde edilen örneklerin 10 ml etanol içersinde disperse edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ZetaSizer Software programı ile (Malvern, İngiltere) değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.2 : SEM karakterizasyonu yapılan örnekler.

ÖRNEK	Uygulanan Voltaj (kV)	Kullanılan Debi (ml/s)	Üretim Miktarı (mg)
A	28	1	11,67
B	35	1	11,67
C	28	0,1	1,17
D	35	0,1	1,17
E	28	1	33,33
F	35	1	33,33
G	28	0,1	3,33
H	35	0,1	3,33
I	18	1	33,33

Tüm örneklerde plaka mesafesi 10 cm ve üretim süresi 10 dk'dır.

7.2.7 Emülsifikasyon

Normal jelatin ve elektro döndürme yöntemi ile elde edilen jelatin nanolifleri su içinde yağ emülsiyonlarının üretiminde kullanılmıştır. Jelatin nanolifleri ve normal jelatin tam çözünmenin gerçekleşmesi için önce 30° C' de ½ saat saf su içersinde manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra üzerine Ayçiçek yağı eklenerek yüksek hızlı karıştırıcıda (IKA T18, Ultra Turrax Basic) 15000 rpm' de 2 dkhomojenize edilmiştir. Bu yöntem ile jelatin nanoliflerinden ve normal jelatinlerden ağırlıkça % 0,5, %0,75 ve % 1 jelatin içeren su içinde yağ emülsiyonları elde edilmiştir. Ayçiçek yağı oranı her emülsiyonda ağırlıkça %20 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Emülsiyonların örnek numaraları aşağıdaki tabloda (Çizelge 7.3) verilmiştir.

7.2.8 Nanoliflerin ve emülsiyonların zeta potansiyellerinin ölçülmesi

Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen örneklerin zeta potansiyelleri zeta potansiyeli ölçüm cihazı ile (MALVERN ZetaSizer Nano-ZS, İngiltere) 25° C'de ölçülmüştür. Ölçümler iki tekrarlı olacak şekilde, her üretimden 10 dk sürede elde edilen örneklerin 10 ml etanol içersinde disperse edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ZetaSizer Software programı ile (Malvern, İngiltere) değerlendirilmiştir. Üretilen emülsiyonların zeta potansiyelleri zeta potansiyelleri zeta potansiyeli ölçüm cihazı ile (MALVERN ZetaSizer Nano-ZS, İngiltere) 25° C' de hacimce 1/100'lük saf su dilüsyonları ile, iki paralelli ve üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler emülsiyonların üretildiği ilk gün ve üretimden sonrak sekizinci gün ile

onbeşinci günde yapılmıştır. Sonuçlar ZetaSizer Software programı ile (Malvern, İngiltere) değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.3 : Üretilen Y/S emülsiyonları.

Örnek	Jelatin Tipi	Jelatin Konsantrasyonu (%w/w)
J	Normal	0,5
	Normal	0,5
K	Nanolif	0,5
	Nanolif	0,5
L	Normal	0,75
	Normal	0,75
M	Nanolif	0,75
	Nanolif	0,75
N	Normal	1
	Normal	1
O	Nanolif	1
	Nanolif	1

7.2.9 Emülsiyonlarda damlacık boyutlarının ölçülmesi

Üretilen emülsiyonların ortalama damlacık boyutları ve damlacık boyutu dağılımları dinamik ışık saçılımı tekniği ile (MALVERN ZetaSizer Nano-ZS, İngiltere) 25° C’ de hacimce 1/100’lük saf su dilüsyonları ile, iki paralelli ve üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler emülsiyonların üretildiği ilk gün ve üretimden sonraki sekizinci gün ile onbeşinci günde yapılmıştır. Sonuçlar ZetaSizer Software programı ile (Malvern, İngiltere) değerlendirilmiştir.

7.2.10 Emülsiyonların absorbans ölçümleri ve türbidite hesaplamaları

Hazırlanan emülsiyonların absorbans değerleri spektrometrede (PG Instruments Ltd., T80 UV/VIS, İngiltere) 600 nm dalga boyunda hacimce 1/300’lük saf su dilüsyonları ile ortam sıcaklığında ölçülmüştür. Ölçümlerin gerçekleştirildiği kuvvet yolu 10 cm’dir. Ölçümler iki paralelli ve iki tekrarlı olacak şekilde emülsiyonların üretildiği ilk gün ve üretimden sonraki sekizinci gün ile onbeşinci günde yapılmıştır. Elde edilen absorbans değerleri türbidite formülünde yerine konularak her emülsiyon için türbidite hesaplamaları denklem 6.1’e göre yapılmıştır.

7.2.11 Emülsiyonların yüzey gerilimi ölçümleri

Hazırlanan emülsiyonların yüzey gerilimleri tensiyometre (Dataphysics DCAT, Almanya) ile ortam sıcaklığı koşullarında WilhelmyPlate tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler iki paralelli ve iki tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Dataphysics SCAT (Almanya) yazılımı ile değerlendirilmiştir.

7.2.12 Emülsiyonların reolojik karakterizasyonu

Hazırlanan emülsiyonların reolojik karakterizasyonu reometre ile (HAAKE RheoStress 1, Almanya) 25° C' de, 0 ile 300 s⁻¹ kayma hızı aralığında ve koni (2°)-plaka sensörü (çap = 35 mm, gap = 0,105 mm) kullanılarak, iki paralelli ve iki tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler 6.2 numaralı eşitlik ile RheoWin3 Data Manager (Almanya) yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

7.2.12 Emülsiyonlarda serum ayrışmaları ve kremleşme indeksleri

Emülsiyonlar hazırlandıktan hemen sonra vida kapaklı deney tüplerine doldurularak (5cm) 4° C' de 15 gün depolanmış ve günlere göre serum ayrışması cm cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan serum ayrışmasının miktarı formülde yerine konularak kremleşme indeksleri hesaplanmıştır. Kremleşme indeksleri 6.3 numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır. Serum ayrışmaları her emülsiyon için iki tekrarlı olacak şekilde cetvel ile ölçülmüştür.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1 Elektrodöndürme Yöntemi İle Nanolif Üretimi

Elektrodöndürme yöntemi ile yapılan deneme çalışmalarında kullanılan polimerleri ve bu polimerlerin elektriksel iletkenlikleri ile yüzey gerilimleri Çizelge 8.1’de sunulmuştur.

Çizelge 8.1 : Elektrodöndürme cihazına beslenen çözeltilerin özellikleri.

Materyal	Nanolif Eldesi	Elektriksel İletkenlik (mS/cm)	Yüzey Gerilimi (mN/m)
%6PVA	+	0,38 ± 0,00	42,88 ± 0,03
%6PVA + %0.2Ksantan gum (8:2)	+	0,40 ± 0,01	41,54 ± 0,03
%6PVA + %2Pektin (6:4)	+	0,37 ± 0,01	43,87 ± 0,03
%6PVA + %3Aljinat (6:4)	+	2,31 ± 0,01	44,09 ± 0,03
%6PVA + %5İnülin (6:4)	+	0,33 ± 0,01	41,21 ± 0,03
%6PVA +%3Nişasta(6:4)	+	0,32 ± 0,00	43,09 ± 0,03
%8 PVA	+	0,46 ± 0,00	38,80 ± 0,03
%0,2 Ksantan gum	-	1,25 ± 0,01	68,19 ± 0,03
%0,2 Ksantan gum + %1 Tuz (8:2)	-	6,17±0,04	63,04±0,03
%1,5 Karragenan	-	5,97± 0,01	43,75 ± 0,03
%2Karboksimetilselüloz	-	2,74 ± 0,01	41,92 ± 0,02
%2Karboksimetilselüloz+	-	2,73 ± 0,05	45,91 ± 0,03
%0,2Ksantan gum (8:2)	-		
%2Karboksimetilselüloz+%5 İnülin (8:2)	-	2,48 ± 0,01	43,55 ± 0,03
%2Pektin	-	0,70 ± 0,00	64,73 ± 0,03
%3 Mısır nişastası	-	0,07 ± 0,00	50,20 ± 0,03
%3Aljinat	-	6,07 ± 0,01	49,30 ± 0,03
%5 İnülin	-	0,08 ± 0,01	57,63 ± 0,03
%7 Jelatin B	+	2,78 ± 0,14	36,24 ± 0,03
%20 Jelatin B	+	4,77± 0,04	34,91 ± 0,03
%20JelatinB+%0,2ksantan gum (8:2)	+	4,06 ± 0,01	39,55 ± 0,03

Gıdalarda kullanılan polimerlerden ve PVA’dan hazırlanan çözeltiler ile yapılan çalışmalarda elektrodöndürme işleminde voltaj 25 ile 35kV aralığında, debi 0,1 ile 3 ml/s arasında ve plaka mesafesi 5 ile 15 cm arasında olmak üzere çeşitli parametreler denenmiştir. Çizelge 8.1’de görüldüğü gibi PVA ve PVA ile doğal polimerlerin karışımlarından elektrodöndürme yöntemiyle üretimin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni PVA’nın açık uçlu lineer zincir yapısında olmasıdır. Diğer biyopolimerlerden ise jelatin dışında nanolif elde edilememiştir.İletkenlik ve yüzey

gerilimi deęerleri genel olarak nanolif elde edilebilecek aralıklarda olmasına raęmen, nanolif elde edilememesi bu polimerlerin dallanmıř zincir yapısına sahip olmalarından kaynaklanabileceęi dūřunūlmektedir. Bu polimerlerle ūretimin geręekleřebilmesi için yardımcı polimerlerin kullanılması veya dallanmıř yapıların hidrolize edilmesi gerekmektedir.

Tek bařına kullanılan gıda polimerlerine bakıldıęında sadece jelatin ile ūretimin geręekleřtirilebildięi gōrūlmektedir. Bunun nedeni jelatinlerin %20 asetik asit-su (v/v) ōzeltisi içinde ōzūndūrūlmesi ve asetik asit sayesinde jelatinin hidrolize edilerek elektrodōndūrme teknięinde kullanıma uygun hale getirilmesi olabilir. Jelatin ve ksantan gum ile denanolif eldesi yapılabilmiř ancak çalıřmanın esas amacına yōnelik olarak kullanılmak ūzere % 7 ve % 20 jelatin ōzeltisinden elde edilen ōrnekler seçilmiř ve farklı elektrodōndūrme parametreleri kullanılarak karakterize edilmiřtir.

8.2 Jelatin ōzeltilerinin Özellikleri

Çizelge 2 de gōrūldūęu gibi % 7’lik jelatin ōzeltisinin elektriksel iletkenlięi $2,78 \pm 0,14$ mS/cm, yūzey gerilimi ise $36,24 \pm 0,03$ mN/m’dir. % 20’lik jelatin ōzeltisinin elektriksel iletkenlięi $4,77 \pm 0,04$ mS/cm, yūzey gerilimi ise $34,91 \pm 0,03$ mN/m’dir. Jelatin konsantrasyonunun artırılması ile ōzeltinin elektriksel iletkenlięinde artıř gōzlemlenmiřtir. Bu sonuç literatūrde formik asit içindeki jelatin ōzeltisi ile yapılan bir çalıřma ile uyumludur. Çalıřmada jelatin konsantrasyonunun % 7,5’ten % 20’ye çıkarılması ile ōzelti iletkenlięinin 2,91 mS’den 4,71 mS’ye yūkseldięi gōzlemlenmiřtir (Ratanavaraporn et al., 2010). Būnyesinde iyonik bileřenler içeren polimerlerin konsantrasyonundaki artıř ōzelti iletkenlięinde artıřa neden olurken, būnyesinde iyonik bileřenler içermeyen polimerler için durum tam tersidir (Andrady, 2008).

Elektriksel iletkenlięin tersine jelatin konsantrasyonundaki artıř ile birlikte ōzeltinin yūzey geriliminde azalma gōzlemlenmiřtir. Bu sonuç literatūr ile uyumludur. Literatūrde jelatin ile yapılan bir çalıřmada jelatin konsantrasyonunun % 0,2’den % 1,8’e doęru artması ile yūzey geriliminin 65 dyne/cm’den 30 dyne/cm’ye doęru azaldıęı gōzlemlenmiřtir (Lin ve Chen, 2006).

Çözeltilerin reolojik karakterizasyonundan elde edilen K ve n değerleri aşağıdaki tabloda (Çizelge 8.2) verilmiştir.

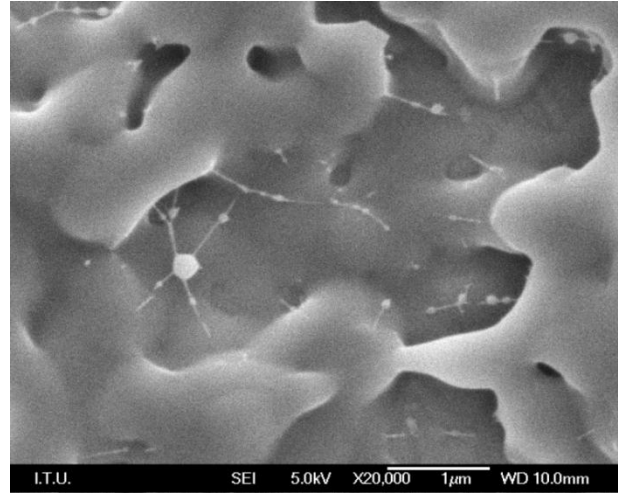
Çizelge 8.2 : Jelatin çözeltilerinin K ve n değerleri.

Konsantrasyon	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
% 7	0,03±0,00	0,82±0,02
% 20	1,37±0,07	0,93±0,00

Reolojik ölçümlerin sonuçlarına göre her iki çözelti de psödoplastik davranış ($n < 1$) göstermektedir. % 20’lik jelatin çözeltisinin “n” değeri 1’e daha yakın olduğundan bu çözeltinin % 7’lik jelatin çözeltisine göre newtonyen akış davranışına ($n=1$) daha yakın akış davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir.

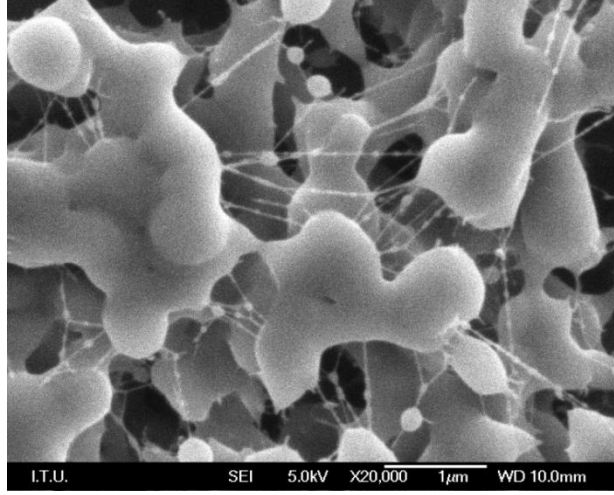
8.3 Jelatin Nanoliflerinin SEM Karakterizasyonu

Elektrodöndürme yöntemi ile % 7’lik jelatin çözeltisinden elde edilen nanolif örneklerinin SEM fotoğrafları aşağıdaki şekillerde (Şekil 8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4) verilmiştir.

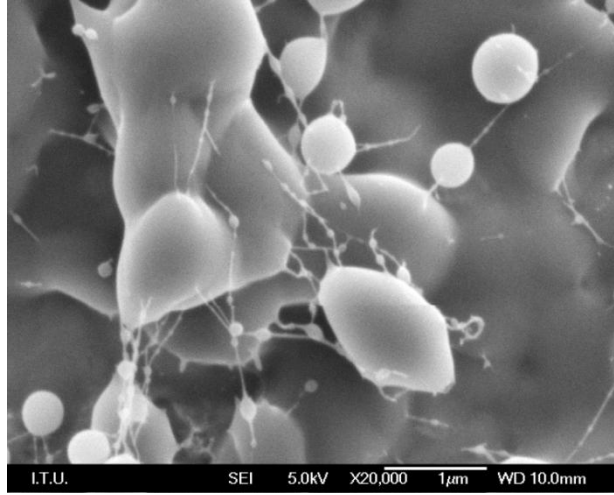


Şekil 8.1 : Örnek A’nın SEM görüntüsü.

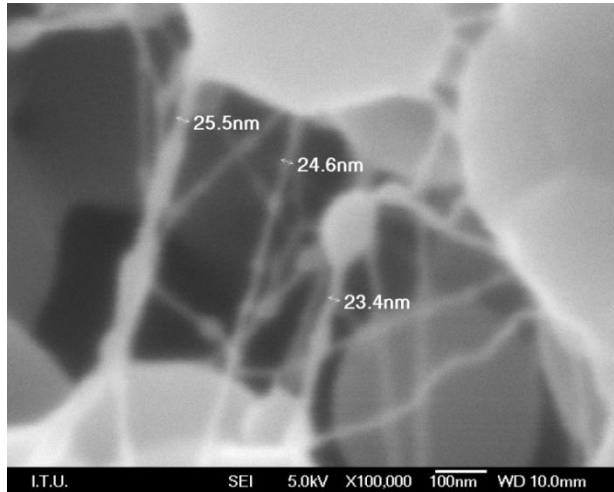
SEM fotoğrafları incelendiğinde % 7’lik jelatin çözeltisinden nanolif elde edilemediği görülmektedir. Elektrodöndürme cihazında üretim esnasında taylor konisi ve jet oluşumu gözlemlenmiştir. Ancak SEM analizi sonucunda oluşan yapının nanolif yapısı olmadığı görülmüştür.



Şekil 8.2 : Örnek B'nin SEM görüntüsü.



Şekil 8.3 : Örnek C'nin SEM görüntüsü.

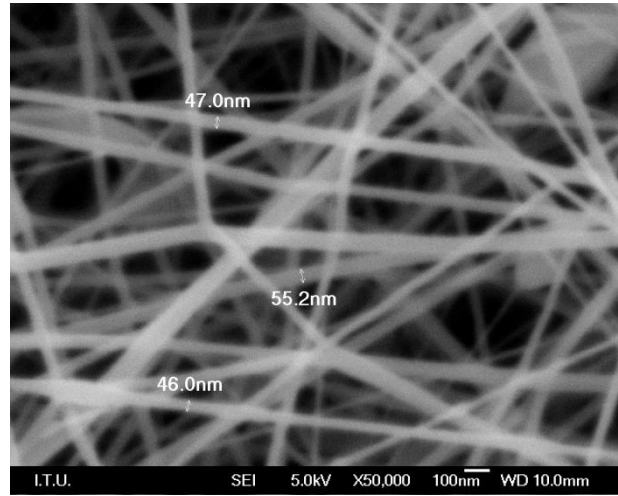


Şekil 8.4 : Örnek D'nin SEM görüntüsü.

Çözeltinin elektriksel iletkenlik ve yüzey gerilimi değerlerinin üretim için uygun olmasına rağmen nanolif oluşumunun gözlemlenememesinin nedeninin çözeltide

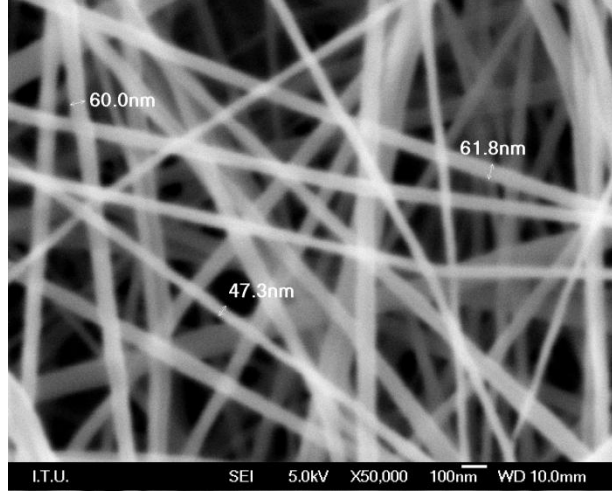
nanolif üretimine yetecek konsantrasyonda jelatin bulunmamasının olduğu düşünülmektedir. Şekil 8.1 ve 8.2 incelendiğinde diğer şartlar sabit tutulup voltaj değeri 28 kV'den 35 kV'ye çıkarıldığında nanolif oluşumunun az da olsa başladığı gözlemlenmektedir. Şekil 8.1 ve 8.3 incelendiğinde diğer şartlar sabitken debi değerinin 1 ml/s'den 0,1 ml/s'ye düşürülmesiyle üretimin başladığı görülmektedir. Bunun nedeninin 28 kV uygulandığında uygulanan voltaj değerini uygulanan debi değerini karşılayabilmesinin olduğu düşünülmektedir. Yani 28 kV voltaj uygulandığında 1 ml/s debi fazla gelmektedir ve sadece püskürmenin etkisiyle oluşan yığın yapısı gözlemlenmektedir. Şekil 8.3 ve 8.4 incelendiğinde ise yine diğer şartlar sabit iken voltajın artırılması ile daha çok nanolife benzeyen yapılar oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeninin hem debinin düşük hem de voltajın yüksek oluşunun olduğu düşünülmektedir.

Elektrodöndürme yöntemi ile % 20'lik jelatin çözeltisinden elde edilen nanolif örnekleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 8.5,8.6,8.7 ve 8.8) verilmiştir.

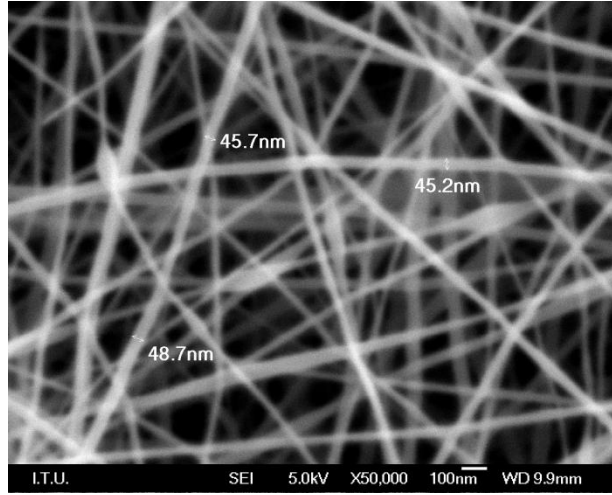


Şekil 8.5 : Örnek E'nin SEM görüntüsü.

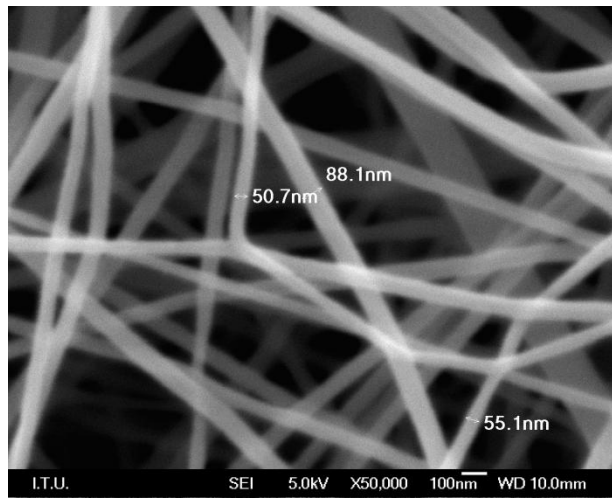
SEM fotoğrafları incelendiğinde % 20'lik jelatin çözeltisinden uygulanan tüm elektrodöndürme şartlarında nanolif elde edilebildiği gözlemlenmiştir. % 20 jelatin konsantrasyonunun nanolif üretiminin gerçekleştirilebilmesi için uygun olduğu düşünülmektedir. Şekil 8.5 ve 8.6 incelendiğinde diğer şartlar sabit tutulduğunda voltajın 28 kV'den 35 kV'ye çıkarılmasıyla nanolif çapında artış olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde genel olarak voltaj artışının nanolif çapında azalmalara neden olduğu, nanolif çapında görülen diğer değişimlerin değerlendirilmesinde voltaj dışındaki parametrelerin de etkisinin incelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.



Şekil 8.6 : Örnek F'nin SEM görüntüsü.



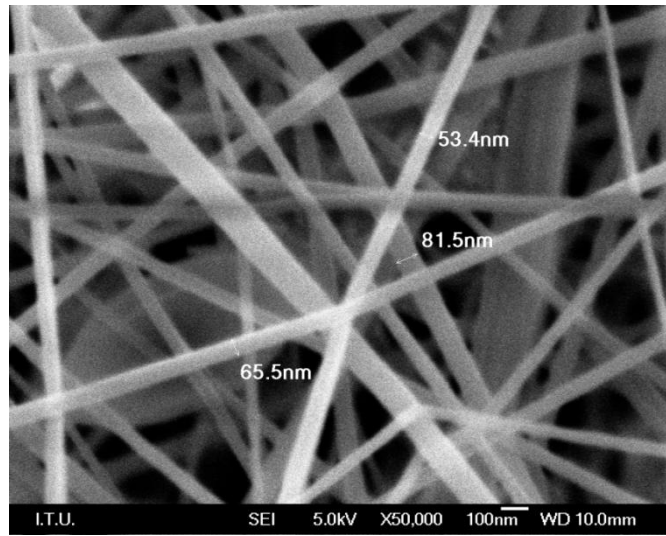
Şekil 8.7 : Örnek G'nin SEM görüntüsü.



Şekil 8.8 : Örnek H'nin SEM görüntüsü.

Bunun nedeninin voltajın yükseltilmesinin daha fazla polimer göçüne sebep olmasının olduğu düşünülmektedir. Şekil 8.7 ve 8.8 incelendiğinde de aynı durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Literatürde PVA ile yapısal bir çalışma da da voltajın artışı ile nanolif çapında artış gözlemlenmiştir (Baker ve diğ., 2006). Şekil 8.5 ve 8.7'e göre voltaj ve plaka mesafesi sabit iken debinin düşürülmesi durumunda ise nanolif çapında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin yüksek debinin Taylor Konisi'nde elektriksel yüklenmeyi de azaltması ve bunun ise nanolif çaplarında artışa neden olmasının olduğu düşünülmektedir. Bu sonuç literatür ile uyumludur (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Şekil 8.6 ve 8.8 incelendiğinde ise tam tersi bir durum söz konusudur.

Aşağıdaki SEM fotoğrafında (Şekil 8.9) 18 kV, 1ml/s debi ve 10 cm plaka mesafesi koşullarında elde edilen nanolif örneği görülmektedir. Y/S emülsiyonlarının stabilizasyonunda bu nanolif kullanılmıştır. Nanolif çapının 53,4 ile 81,5 nm arasında değiştiği, genel olarak damlacıksız yapının elde edilebildiği görülmektedir.



Şekil 8.9 : Örnek I'nın SEM görüntüsü.

Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde %7 (w/v) jelatin konsantrasyonuna sahip çözeltiler ile nanolif üretimi gerçekleştirilememiştir, ancak 35 kV 0,1 ml/s debi koşullarında az da olsa üretimin başladığı görülmektedir. Bu koşullarda elde edilen örnekteki liflerin çapları 23,4 ve 25,5 nm arasında değişmektedir. %20 (w/v) jelatin konsantrasyonuna sahip çözeltiler ile tüm koşullarda üretim gerçekleştirilebilmiştir. Elde edilen örneklerden en küçük nanolif çaplarına sahip olan örneğin 28 kV; 0,1 ml/s debi koşullarında üretilen nanolifin (örnek G) sahip olduğu görülmüştür. Ancak örnekte birçok damlacık yapısı görülmektedir.

8.4 Jelatin ve Jelatin Nanolifi İçeren Dispersiyonların Zeta Potansiyelleri ve Difüzyon Katsayıları

Aşağıdaki tabloda normal jelatinin ve elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen örneklerin zeta potansiyelleri ve difüzyon katsayıları verilmiştir.

Çizelge 8.3 : Jelatinin ve elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen örneklerin zeta potansiyelleri ve difüzyon katsayıları.

ÖRNEK	ζ (mV)	Difüzyon Katsayısı ($\mu\text{m}^2/\text{s}$)
Normal Jelatin	-0,52±0,42	0,02±0,00
A	+4,54±1,85	0,65±0,03
B	+3,79±0,75	0,31±0,41
C	+6,24±1,61	0,44±0,05
D	+5,89±0,03	0,39±0,03
E	+12,40±0,00	0,65±0,04
F	+6,49±0,28	0,56±0,05
G	+21,90±0,10	1,18±0,08
H	+18,90±0,00	0,87±0,01

A,B,C,D örnekleri % 7 jelatin çözeltisinden elde edilen nanoliflerdir. A: 28 kV, 1ml/d debi; B: 35 kV, 1ml/s debi; C: 28 kV, 0,1 ml debi; D: 35 kV, 0,1 ml/s debi. E,F,G,H örnekleri % 20 jelatin çözeltisinden elde edilen nanoliflerdir. E: 28 kV, 1ml/d debi; F: 35 kV, 1ml/s debi; G: 28 kV, 0,1 ml debi; H: 35 kV, 0,1 ml/s debi. Plaka mesafesi tüm üretimler için 10 cm'dir.

Örnekler incelendiğinde elektrodöndürme yönteminin tüm örneklerde zeta potansiyeli işaretini eksiden artıya çevirdiği görülmektedir. % 7'lik jelatin çözeltisi ile elde edilen örneklerin zeta potansiyellerinin % 20'lik jelatin çözeltisinden elde edilen nanoliflerin zeta potansiyellerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yani nanolif yapıları çökelmeye karşı daha stabil davranış göstermektedir. Stabil bir sistemde zeta potansiyeli +25 mV üstünde ya da -25mV altında olmalıdır. Bu ikideğer arasındaki bölge kararsızlık bölgesi olarak adlandırılmaktadır (Srinivasan ve diğ., 2010). Bu bilgiye dayanarak 28 kV, 0,1 ml/s debi ve 10 cm plaka mesafesi koşullarında üretilen jelatin nanolifinin (G) kararlı bölgeye daha yakın olduğu ve diğer örneklerle göre etanol içerisinde daha stabil davranış gösterdiği düşünülmektedir. Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen tüm örneklerin difüzyon katsayıları normal jelatine göre daha yüksektir. Elektrodöndürme yönteminin örneği nano boyutlara indirgemesi nedeni ile difüzyon yeteneğini artırdığı düşünülmektedir. Genel olarak nanoliflerin diğer örneklerle göre difüzyon katsayıları daha yüksektir. Nanolif örnekleri kendi aralarında incelendiğinde diğer şartlar sabit tutulduğunda 28 kV ile elde edilen örneklerin 35 kV ile elde edilen örneklerden daha yüksek

düfúzyon katsayısına sahip olduğu gör÷lmektedir. SEM analizlerinde bu nanolif örneklerinin daha ince çaplara sahip olduğu gözlemlenmiştir.

8.5 Em÷lsiyonların Zeta Potansiyeli (ζ) Ölçümleri

Hazırlanan Y/S em÷lsiyonlarının hazırlandıkları ilk gün ve depolama sırasında sekizinci ve onbeşinci gündeki zeta potansiyeli ölçüm sonuçları aşağıdaki tabloda (Çizelge 8.4) verilmiştir.

Çizelge 8.4 :Y/S em÷lsiyonlarında zeta potansiyeli (mV).

ÖRNEK	1. GÜN	8. GÜN	15.GÜN
J	-10,1±4,2	-1,4±0,9	-5,8±3,2
K	-13,8±5,7	-13,1±2,9	-17,6±2,8
L	-14,3±0,5	-14,3±0,2	-16,8±1,4
M	-10,7±0,3	+4,6±1,9	+0,85±0,1
N	-1,7±0,2	+2,1±0,1	-1,6±0,1
O	-14,0±0,2	-15,9±0,2	-17,2±0,5

J örneği % 0,5 jelatin ile stabilize edilen em÷lsiyonlarının ortalamasını, K örneği % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen em÷lsiyonların ortalamasını, L örneği % 0,75 jelatin ile stabilize edilen em÷lsiyonların ortalamasını, M örneği % 0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen em÷lsiyonların ortalamasını, N örneği % 1 jelatin ile stabilize edilen em÷lsiyonların ortalamasını, O örneği % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen em÷lsiyonların ortalamasını temsil etmektedir.

Em÷lsiyonların elde edildiği ilk gün yapılan ölçümlere göre%0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen em÷lsiyonların zeta potansiyellerinin ortalama olarak daha yüksek olduğu gör÷lmüştür. L ve M örneklerinde ise jelatin ile stabilize edilen em÷lsiyonların zeta potansiyelleri daha yüksektir. N, O örneklerine bakıldığında yine % 1jelatin nanolifi ile stabilize edilen em÷lsiyonların zeta potansiyellerinin daha yüksek olduğu gör÷lmektedir.

Jelatin nanolifi ile stabilize edilen em÷lsiyonlar kendi içinde değerlendirildiğinde %0,5 jelatin konsantrasyonundan %0,75 jelatin konsantrasyonuna çıkıldığında zeta potansiyelinde azalma olduğu, %0,75 jelatin konsantrasyonundan %1 jelatin konsantrasyonuna çıkılması durumunda ise zeta potansiyelinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Jelatin ile stabilize edilen em÷lsiyonlar kendi içinde değerlendirildiğinde%0,5 jelatin konsantrasyonundan % 0,75 jelatin konsantrasyonuna çıkılması durumunda ortalama zeta potansiyelinde artış olduğu, %0,75 jelatin konsantrasyonundan %1 jelatin konsantrasyonuna çıkılması durumunda ise zeta potansiyelinde önemli oranda azalma olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan bir çalışmada keten tohumu ve soya proteinlerinden elde edilen su içinde yağ em÷lsiyonları ile ilgili bir çalışmada

protein konsantrasyonunun %0,5' ten %0,75' e çıkarılmasıyla zeta potansiyelinde artış, %0,75' ten %1' çıkarılmasıyla zeta potansiyelinde düşüş gözlemlenmiştir. Yüksek zeta potansiyeli damlacıkların çeperinde daha güçlü elektriksel itme kuvvetlerinin olduğu anlamına gelmektedir (Wang ve diğ., 2010). Balık jelatini ile yapılan başka bir çalışmada ise damlacıkların çeperindeki elektriksel kuvvetlerin daha az oluşunu damlacık çeperlerinde düşük oranlarda jelatin birikmesinden kaynaklanabileceği ya da jelatin moleküllerindeki iyonlaşabilir grupların diğerlerine nispeten daha düşük olabileceği şeklinde açıklanmıştır (Surh ve diğ., 2006).

4° C depolama koşullarında Y/S emülsiyonlarının zeta potansiyellerinde zamanla oluşan değişimler değerlendirildiğinde; % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerinde sekizinci günde azalma onbeşinci günde tekrar artış gözlemlenmiştir. Aynı konsantrasyonda jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlar incelendiğinde zeta potansiyelinde sekizinci ve onbeşinci günlerde azalma gözlemlenmiştir. % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda sekizinci günde değişim görülmezken onbeşinci günde artış gözlemlenmiştir. Aynı konsantrasyonda jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarının zeta potansiyelinde ise sürekli olarak azalma görülmüş ve onbeşinci günde zeta potansiyelleri sıfıra yaklaşmıştır. Sekizinci ve onbeşinci günde damlacık çeperindeki iyonik yükler eksiden artıya doğru değişim göstermiştir. % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerinde sekizinci günde artış gözlemlenmiş ve yağ damlacıklarının çeperindeki yükler negatiften pozitifeye doğru değişmiştir. Onbeşinci günde sekizinci güne göre tekrar zeta potansiyelinde düşüş gözlemlenmiş ve çeperdeki yükler yine negatif yönde değişmiştir. Aynı konsantrasyonda jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerinde ise sürekli olarak artış gözlemlenmiştir. Zeta potansiyellerinde zamanla oluşan değişimlerin konsantrasyon ve kullanılan jelatin tipinden bağımsız olarak gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Tüm emülsiyonların 2 paraleline ait ortalama zeta potansiyelleri tezin ekler kısmında sunulmuştur.

8.6 Emülsiyonların Damlacık Boyutları

Aşağıdaki tabloda (Çizelge 8.5) %0,5 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen Y/S emülsiyonlarının birinci günde ölçülen damlacık boyutu dağılımları ve ortalama damlacık boyutları verilmiştir.

Çizelge 8.5 : %0,5 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları (1. gün ölçümleri).

Örnek J		Örnek K	
%	Damlacık Boyutu (nm)	%	Damlacık Boyutu (nm)
0,1	342	0,3	295,3
0,7	396,1	2,4	342
2,7	458,7	10,8	396,1
6,7	531,2	24,9	458,7
13,1	615,1	31,7	531,2
20,4	712,4	22,1	615,1
24	825	7,3	712,4
19,5	955,4	0,6	825
9,9	1106		
2,7	1281		
0,3	1448		
Ortalama	762,6 ± 181,3	Ortalama	552 ± 86,43

Emülsiyonlarda birinci günde yapılan ölçümlere göre %0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların (örnek J) ortalama damlacık boyutlarının %0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlara (örnek K) göre daha büyük olduğu ve bu emülsiyonlarda damlacık boyutu dağılım aralığının daha geniş olduğu görülmüştür. %0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda damlacık boyutlarının %77'si 615 ile 955 nm arasında dağılmaktadır. %0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise damlacık boyutlarının %78'i 458 ile 615 nm arasında dağılım göstermektedir.

Sekizinci gün yapılan ölçümlerde %0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonda ortalama damlacık boyutunun 5463 nm olduğu görülmüştür. Damlacık boyutlarının 955,4 ile 6439 nm arasında değiştiği, damlacık boyutlarının %66'sının 4801 ile 6439 nm arasında olduğu görülmüştür. %0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise ortalama damlacık boyutu 789,9 nm'ye yükselmiştir. Damlacık boyutlarının 396,1 ile 1106 nm arasında değiştiği, %71'inin ise 531,2 ile 712,4 nm arasında olduğu görülmüştür.

Onbeşinci günde yapılan ölçümlerde %0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda ortalama damlacık boyutunun 5449 nm olduğu, damlacık boyutlarının 955,4 ile 6439 nm arasında değiştiği görülmüştür. Damlacık boyutlarının % 53'ü 1281 ile 1990 nm arasındadır. %0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise ortalama damlacık boyutunun 697,8 nm olduğu, damlacıkların 396,1 ile 1106 nm arasında

dağılım gösterdiği görülmüştür. Damlacık boyutlarının %91'i 531,2 ile 825 nm arasındadır.

Aşağıdaki tabloda (Çizelge 8.6) %0,75 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların birinci günde ölçülen damlacık boyutu dağılımları ve ortalama damlacık boyutları verilmiştir.

Çizelge 8.6 : %0,75 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları (1. gün ölçümleri).

Örnek L		Örnek M	
%	Damlacık Boyutu (nm)	%	Damlacık Boyutu (nm)
1	295,3	0,1	220,2
6,2	342	4,1	255
16,1	396,1	17,2	295,3
24	458,7	31	342
22,9	531,2	29,2	396,1
15,2	615,1	14,6	458,7
8,2	712,4	3,5	531,2
4,2	825	0,3	615,1
1,7	955,4		
0,4	1106		
Ortalama	506,3 ± 85,45	Ortalama	411 ± 71,95

Emülsiyonlarda birinci günde yapılan ölçümlere göre %0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların (örnek L) ortalama damlacık boyutlarının %0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlara (örnek M) göre daha büyük olduğu ve bu emülsiyonlarda damlacık boyutu dağılım aralığının daha geniş olduğu görülmüştür. %0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda damlacık boyutlarının %78'i 396,1 ile 615,1 nm arasında dağılmaktadır. %0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise damlacık boyutlarının %92'si 295,3 ile 458,7 nm arasında dağılım göstermektedir. Her iki tip emülsiyonda da konsantrasyonun %0,5'ten %0,75'e çıkması ile ortalama damlacık boyutunda azalma olmuştur.

Aynı emülsiyonların sekizinci günde yapılan damlacık boyutu ölçümlerinde %0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama damlacık boyutlarında 5590 nm'ye kadar artış olduğu, damalcık boyutlarının 712,4 ile 6439 nm arasında dağılım gösterdiği, damlacık boyutlarının %69'unun 1106 ile 2669 nm arasında olduğu görülmüştür. %0,75 jelatin nanolifi ile stablize edilen emülsiyonlarda ise ortalama damlacık boyutu sekizinci günde 364,7 nm'ye yükselmiştir. Damlacık boyutlarının

255 ile 825 nm arasında dağılım gösterdiği, damlacık boyutlarının %80'inin 342 ile 531,2 nm arasında olduğu görülmüştür.

Aynı emülsiyonlarda onbeşinci günde yapılan ölçümlerde göre %0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda ortalama damlacık boyutu 1068 nm'dir. Damlacık boyutları 615,1 ile 6439 nm arasında dağılım göstermiştir, damlacık boyutlarının %57'si 955,4 ile 1484 nm arasındadır. %0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise ortalama damlacık boyutu onbeşinci günde 672,9 nm'ye yükselmiştir. Damlacık boyutları 342 ile 1281 nm arasında dağılım göstermektedir ve damlacık boyutlarının %68'i 531,2 ile 825 nm arasındadır.

Aşağıdaki tabloda (Çizelge 8.7) %1 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların birinci günde ölçülen damlacık boyutu dağılımları ve ortalama damlacık boyutları verilmiştir.

Çizelge 8.7 : %1 jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları (1. gün ölçümleri).

Örnek N		Örnek O	
%	Damlacık Boyutu (nm)	%	Damlacık Boyutu (nm)
0,8	342	2,6	220,2
5,1	396,1	6,8	255
14	458,7	8,6	295,3
23,1	531,2	11,3	342
25,8	615,1	15,6	396,1
19,5	712,4	18,4	458,7
9,3	825	17,6	531,2
2,3	955,4	12,1	615,1
0,1	1106	5,6	712,4
		1,4	825
Ortalama	560,5 ± 105,6	Ortalama	498,3 ± 63,35

Emülsiyonlarda birinci günde yapılan ölçümlere göre %1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların (örnek N) ortalama damlacık boyutlarının %1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlara (örnek O) göre daha büyük olduğu görülmüştür.. Her iki tip emülsiyonda da konsantrasyonun %0,75ten %1'e çıkması ile ortalama damlacık boyutunda artış olmuştur.

Sekizinci günde yapılan ölçümlere göre %1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama damlacık boyutu 5590 nm'ye yükselmiştir ve damlacık boyutları 342 ile 6439 nm arasında dağılım göstermektedir. Damlacık boyutlarının %64'ü 1990 ile 6439 nm arasındadır. %1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise

ortalama damlacık boyutunun sekizinci günde 998 nm'ye yükseldiği görülmüştür. Damlacık boyutları 458,7 ile 1484 nm arasında dağılım göstermektedir. %71'i 615,1 ile 1106 nm arasındadır.

% 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda onbeşinci günde gerçekleştirilen damlacık boyutu ölçümlerinde ortalama damlacık boyutunun 5536 nm olduğu, damlacık boyutlarının 458,7 ile 6439 nm arasında dağılım gösterdiği görülmüştür. %1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise ortalama damlacık boyutunun 980,1 nm olduğu, damlacık boyutlarının 531,2 ile 1484 nm arasında dağılım gösterdiği, damlacık boyutlarının %85'inin 712,4 ile 1106 nm arasında olduğu görülmüştür.

8.7 Emülsiyonların Absorbans Ölçümleri ve Türbidite Hesaplamaları

Aşağıdaki tablolarda Y/S emülsiyonlarının 600 nm dalga boyunda ölçülen absorbans (Çizelge 8.8) ve hesaplanan türbidite (Çizelge 8.9) değerleri verilmiştir.

Çizelge 8.8 : Emülsiyonların absorbans değerleri (600 nm).

ÖRNEK NO	1.Gün	8.Gün	15.Gün
J	0,81±0,01	0,86±0,01	0,84±0,01
K	0,60±0,01	0,68±0,01	0,65±0,01
L	0,82±0,01	0,87±0,01	0,85±0,01
M	0,61±0,02	0,69±0,01	0,71±0,01
N	0,85±0,01	0,87±0,01	0,89±0,01
O	0,68±0,01	0,70±0,01	0,74±0,01

J örneği % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarının ortalamasını, K örneği % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, L örneği % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, M örneği % 0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, N örneği % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, O örneği % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını temsil etmektedir.

Çizelge 8.9 : Emülsiyonların hesaplanan türbidite (m^{-1}) değerleri.

ÖRNEK NO	1.Gün	8.Gün	15.Gün
J	55876,54	59279,22	58173,78
K	41264	47361,20	45150,32
L	56947,43	60125,57	58501,96
M	41799,45	47896,64	48751,27
N	58484,69	60332,84	61282,83
O	43361,20	48743	51489,32

Jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda (K,M,O) absorbans ve türbidite değerleri jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlara (J,L,N) göre genel olarak daha düşüktür. Her iki tip Y/S emülsiyonunda da jelatin konsantrasyonunun artmasıyla

absorbans ve türbidite değerlerinde artış görülmüştür. elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur. Keten tohumu ve soya proteinlerinden elde edilen su içinde yağ emülsiyonları ile ilgili bir çalışmada protein konsantrasyonunun %0,25' ten %1,25'e çıkarılmasıyla türbidite değerlerinde artış gözlemlenmiştir (Wang ve diğ., 2010). Aynı zamanda türbiditenin ortalama damlacık boyutunun artmasıyla arttığı bilinmektedir (McClements, 2002).

Absorbans ve türbidite değerlerinde zamanla oluşan değişim incelendiğinde % 0,5 ve % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda sekizinci günde artış, on beşinci günde ise azalma olduğu görülmüştür. Aynı örneklerin ortalama damlacık boyutlarına dair sonuçlara bakıldığında sekizinci günde birinci güne göre damlacık boyutunda artış, onbeşinci günde sekizinci güne göre damlacık boyutunda azalma olduğu görülmektedir. % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise her iki günde de artış görülmüştür. Aynı örnekler incelendiğinde ortalama damlacık boyutlarında her iki günde de artış olduğu görülmektedir. Jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlar incelendiğinde ise % 0,5 konsantrasyona sahip emülsiyonların ortalama absorbans ve türbidite değerlerinde sekizinci günde artış onbeşinci günde ise azalma olduğu görülmüştür. Aynı örneklerin ortalama damlacık boyutlarında da sekizinci günde birinci güne göre artış, onbeşinci günde sekizinci güne göre azalma olduğu görülmektedir. %0,75 ve %1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise zamanla artışın devam ettiği görülmüştür. Aynı örneklerin ortalama damlacık boyutları incelendiğinde yine sürekli artışın olduğu görülmektedir. Sonuç olarak emülsiyonlarda damlacık boyutundaki artış ile absorbans ve türbidite değerlerinde artışın gerçekleştiği, azalma ile absorbans ve türbidite değerlerinde azalmanın gerçekleştiği söylenebilir. Aynı konsantrasyona sahip emülsiyonlar kendi aralarında değerlendirildiğine jelatin nanolifi ile stabilize edilenlerin diğerlerine göre daha düşük absorbans ve türbidite değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun jelatin nanolifi ile hazırlanan emülsiyonların ortalama damlacık boyutlarının daha düşük oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

8.8 Emülsiyonların Yüzey Gerilimleri

Tensiyometrede Wilhelmy Plate metodu ile ölçülen yüzey gerilimleri aşağıda (Çizelge 8.10) verilmiştir.

%0,5 ve %0,75 konsantrasyona sahip örnekler incelendiğinde jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlara göre daha yüksek yüzey gerilimlerine sahip olduğu görülmüştür. %1 jelatin konsantrasyonuna sahip emülsiyonlarda ise jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların jelatin ile

Çizelge 8.10 : Emülsiyonların yüzey gerilimleri.

ÖRNEK NO	Yüzey Gerilimi (mN/m)
J	56,1±0,7
K	63,9±0,2
L	55,9±0,4
M	60,1±0,6
N	64,9±1,0
O	59,3±0,6

J örneği % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarının ortalamasını, K örneği % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, L örneği % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, M örneği % 0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, N örneği % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, O örneği % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını temsil etmektedir.

stabilize edilen emülsiyonlara göre daha düşük yüzey gerilimlerine sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak bakıldığında jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda konsantrasyonun artmasıyla yüzey geriliminde azalma olduğu görülmektedir. Jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise konsantrasyonun %0,5'ten %0,75'e çıkarılmasıyla yüzey gerilimde azalma olduğu, %1'e çıkarıldığında ise yüzey geriliminde artış olduğu görülmektedir.

8.9 Reolojik Özelliklerin Karakterizasyonu

Y/S emülsiyonlarının reolojik ölçümleri sonucunda elde edilen K ve n değerleri aşağıdaki tabloda (Çizelge 8.11) verilmiştir.

Çizelge 8.11: Emülsiyonların K ve n değerleri.

ÖRNEK	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
J	0,0259±0,0073	0,6383±0,0796
K	0,0291±0,0045	0,7066±0,0223
L	0,1155±0,0633	0,4947±0,1095
M	0,0177±0,0019	0,7281±0,0230
N	0,0966±0,0305	0,6083±0,0475
O	0,0166±0,0028	0,7320±0,0354

J örneği % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarının ortalamasını, K örneği % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, L örneği % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, M örneği % 0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, N örneği % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, O örneği % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını temsil etmektedir.

Y/S emülsiyonlarında ait “n” değerleri incelendiğinde tüm emülsiyonlarda “n” değerlerinin birden küçük olduğu ($n < 1$) görülmüştür. Yani tüm emülsiyonlar psödoplastik davranış modeli göstermektedir. Bu sonuç literatür ile uyumludur. Daha önce de belirtildiği gibi gıda emülsiyonlarında genel olarak psödoplastik yani zamanla viskozitesi azalan davranış modeli görülmektedir (McClements, 1999). Jeltin ile ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlar karşılaştırıldığında tüm konsantrasyonlar için “n” değerinin jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. “n” değerinin bire eşit olması ($n=1$) emülsiyonların newtonyen davranış gösterdiği anlamına geldiği için jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların newtonyene daha yakın olduğu söylenebilir. % 0,5 konsantrasyondan % 0,75 konsantrasyona çıkılınca jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların “n” değerinde azalma olurken, jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların “n” değerinde artış görülmüştür. Konsantrasyonun % 0,75’ten % 1’e artırılması durumunda ise jelatin ile ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların “n” değerlerinde artış görülmüştür. % 0,5 konsantrasyonlarında stabilize edilen emülsiyonların “K” değerine bakıldığında jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda “K” değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer emülsiyonlarda ise “K” değeri jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda daha düşüktür. Elde edilen tüm Y/S emülsiyonlarında 0 ile 300 s^{-1} kayma hızı aralığında, tüm Y/S emülsiyonlarının kayma geriliminde (Pa) kayma hızının artışına paralel olarak artış görülmüştür. literatürde sodyum kazeinat ile stabilize edilen Y/S emülsiyonlarına ait bir çalışmada 0 il 300 s^{-1} kayma hızı aralığında emülsiyonların kayma geriliminde (Pa) kayma hızının artışına paralel olarak artış gözlemlenmiştir (Perrechil ve Cunha, 2010). Emülsiyonların kayma hızı ve kayma gerilimlerine ait tüm grafikler tezin ekler kısmında sunulmuştur.

8.10 Emülsiyonlarda Serum Ayırışmaları ve Kremleşme İndeksleri

Jelatin ve jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlar 15 gün boyunca 4° C sıcaklık koşullarında depolanmış ve serum ayırışmaları takip edilmiştir. Üretimden bir gün sonr serum ayırışması görülürken diğer günler serum seviyesinde herhangi bir değişim olmamıştır. Aşağıdaki tabloda Y/S emülsiyonlarının cm cinsinden serum

ayrışmaları ve serum ayrışmasına göre hesaplanan kremleşme indeksleri (Çizelge 8.12) verilmiştir.

Buzdolabı koşullarında depolanan Y/S emülsiyonlarının serum ayrışmaları takip edildiğinde tüm konsantrasyonlar için serum ayrışmalarının jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı şekilde kremleşme yüzdeleri de daha fazladır. En fazla serum ayrışması % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda görülmüştür. Aynı konsantrasyonda jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise ortalama serum ayrışması yaklaşık olarak % 70 oranında daha azdır. % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise ortalama serum ayrışması aynı konsantrasyonda jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlara göre % 21 oranında daha fazladır. % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda ortalama serum ayrışması % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlara göre % 30 oranında daha fazladır. Elde edilen bu sonuçlara göre buzdolabı koşullarında % 0,5, % 0,75 ve % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların aynı konsantrasyonda jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlara göre daha stabil olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 8.12 : Emülsiyonlarının serum ayrışmaları ve kremleşme indeksleri.

ÖRNEK	Serum Ayrışması (cm)	Kİ (%)
J	3,10±0,14	62
K	0,95±0,07	20
L	0,95±0,07	19
M	0,75±0,07	15
N	1,00±0,00	20
O	0,70±0,00	14

J örneği % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarının ortalamasını, K örneği % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, L örneği % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, M örneği % 0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, N örneği % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını, O örneği % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların ortalamasını temsil etmektedir.

Jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlarda yağ damlacıkları daha fazla koagüle olmaktadır. Yüksek kremleşme indeksi veya serum ayrışması emülsiyonun stabil olmadığı ve emülsifiye edici bileşenin etkisinin düşük olduğu anlamına gelmektedir (McClements, 1999). Jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlar kendi aralarında incelendiğinde konsantrasyonun % 0,5'ten % 0,75'e çıkarılmasıyla serum ayrışması % 69 oranında azalmış, % 0,75'ten % 1'e çıkarılması durumunda ise yaklaşık olarak % 5 oranında artış görülmüştür. Jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise konsantrasyonun % 0,5'ten % 0,75'e çıkarılmasıyla serum ayrışmasında % 25

oranında azalma, % 0,75'ten % 1'e çıkarılmasıyla da yaklaşık olarak % 7 oranında azalma görülmüştür. yani jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda konsantrasyonun artışına karşılık sürekli serum ayrışmasında sürekli azalma söz konusudur. Bu sonuç literatür ile uyumludur.Sodyum kazeinat ile yapılan bir çalışmada emülsifiye edici bileşenin konsantrasyonunun artırılması ile serum ayrışmasının ve kremleşme indeksinin azaldığı gözlemlenmiştir (Perrechil ve Cunha, 2010). Ancak jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlar için aynı durum söz konusu değildir.

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda öncelikle gıda kaynaklı polimerlerden elektrodöndürme yöntemi ile nanolif elde edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan polimerler arasında sadece jelatin ile tek başına nanolif eldesi mümkün olmuştur.

Elde edilen jelatin nanoliflerinin morfolojilerinin farklı elektrodöndürme koşullarında nasıl değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. %7 jelatin konsantrasyonuna sahip jelatin çözeltisi ile nanolif elde edilememiş, %20 jelatin konsantrasyonuna sahip jelatin çözeltisinden ise tüm elektrodöndürme koşullarında nanolif eldesi mümkün olmuştur. %7'lik jelatin çözeltisi %20'lik jelatin çözeltisine göre daha düşük elektriksel iletkenliğe ve daha yüksek yüzey gerilimine sahiptir. Ancak nanolif elde edilememesinin çözelte nanolif formunu oluşturabilecek yeterli jelatinin olmayışından kaynaklandığı düşünülmektedir. SEM karakterizasyonlarına göre en ince nanolif çapı 28 kV; 0,1 ml/s debi ve 10 cm plaka mesafesi uygulandığı elektrodöndürme işlemiyle elde edilebilmiştir. Bu nanolif örneğinin çapları 45,2 ile 48,7 nm arasında değişmektedir. Diğer şartlar sabit tutulduğunda 28 kV'den 35 kV'ye çıkılınca nanolif çaplarında artış gözlemlenmiştir. Bunun yüksek voltaj değerinin fazla polimer göçüne neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen örneklerin difüzyon katsayısı ve zeta potansiyeli karşılaştırmalarında tüm örneklerin standart jelatine göre daha yüksek difüzyon katsayısına ve zeta potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Standart jelatinde zeta potansiyelinin yükü eksi (-) iken elektrodöndürme yöntemiyle elde edilen tüm örneklerde zeta potansiyelinin yükü artıdır (+). Elektrodöndürme yönteminin jelatinin elektriksel özelliklerini değiştirmiş olabileceği düşünülmektedir. Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen örneklerin hepsi nano boyutta olduğundan daha yüksek mobiliteye sahiptir. Zeta potansiyellerinin daha yüksek oluşu ise daha uzun süre süspansiyon içinde askıda kalabileceklerinin, çökmeye karşı daha dirençli olduklarının göstergesidir. Nanolif örnekleri içinde ise en yüksek zeta potansiyeline ve difüzyon katsayısına 28 kV; 0,1 ml/s debi; 10 cm plaka mesafesi

koşullarıda üretilen nanolif örneğinin sahiptir. Bunun ise aynı örneğin diğer nanolif örneklerine göre daha ince çaplara sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Y/S emülsiyonlarına ait sonuçlar genel olarak yorumlandığında zeta potansiyelinin jelatin konsantrasyonu ve tipine bağlı olmaksızın değiştiği gözlemlenmiştir. Zeta potansiyeli ve serum ayrışması ilişkisi incelendiğinde % 0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerinin % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerine göre daha düşük olduğu, serum ayrışmalarının ise daha fazla olduğu görülmektedir. 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlar da ise zeta potansiyelleri % 0,75 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerinden daha yüksek olmasına rağmen serum ayrışmalarının daha fazla olduğu görülmüştür. % 0,75 konsantrasyonda jelatin nanoliflerinin damlacık yüzeylerine daha az oranda adsorbe olduğu ancak yüzey aktivitelerinin daha yüksek olması nedeni ile serum ayrışmasını daha yüksek oranda engellediği düşünülmektedir. % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyelleri % 1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların zeta potansiyellerinden daha az, aynı şekilde serum ayrışmasında daha fazla olduğu görülmüştür. % 1 jelatin ile stabilize edilen emülsiyonda % 0,75 jelatin ile stabilize edilen emülsiyona göre daha fazla serum ayrışmasının oluşu zeta potansiyelinin daha düşük olması ile ilişkilendirilmiştir.

Emülsiyonların ortalama damlacık boyutları incelendiğinde jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ortalama damlacık boyutlarının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum serum ayrışmaları ile ilişkilendirildiğinde jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda daha küçük damlacık boyutlarının koagüle olmaya karşı daha dirençli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç literatür ile uyumludur. Fiziksel olarak stabil emülsiyonlar zamanla damlacık boyutlarında değişimin olmadığı ve faz değişiminin yaşanmadığı emülsiyonlardır. Emülsiyonların daha stabil hale gelmesi için daha fazla emülsifiye edici bileşenlerin eklenmesi ya da yüksek basınç ve ultrases homojenizatörlerinin kullanılması ile emülsiyonların damlacık boyutları küçültülmeye çalışılmaktadır (Schubert ve Engel; 2008). Aynı şekilde jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda damlacık boyutların daha dar bir aralıkta dağılım göstermiştir. Bu çalışmada emülsiyon stabilitesinin zeta potansiyelinden daha çok damlacık boyutu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ortalama damlacık boyutu ve türbidite ilişkisi incelendiğinde jelatin nanolifi ile

stabilize edilen emülsiyonlarda ortalama damlacık boyutu ve türbiditelerin daha az olduğu görülmüştür. Bu sonuç literatür ile uyumludur. Genellikle damlacık boyutundaki artışa paralel olarak türbiditede artış gözlemlenmektedir (McClements, 2002; Lee ve McClements, 2010). Ortalama damlacık boyutunda zamanla oluşan artma ve azalmalar zamanla oluşan türbidite değişimleri ile paralellik göstermiştir.

Reolojik modellemelerde üretilen tüm emülsiyonların zamanla viskozitesi azalan yani psödoplastik davranış ($n < 1$) gösterdiği görülmüştür. Ortalama damlacık boyutları daha az olan jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda “n” değerlerinin 0,7 üzerinde olduğu görülmüştür. Buna dayanarak “n” değerinin bire daha yakın olması nedeni ile jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların newtonyene daha yakın davranış gösterdiği sonucuna varılmıştır. % 0,5 konsantrasyonlarında stabilize edilen emülsiyonların “K” değerlerine bakıldığında jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda “K” değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. %0,75 ve %1 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonlarda ise “K” değeri daha düşüktür. % 0,5 jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonun %0,5 jelatin ile stabilize edilen emülsiyona göre daha kıvamlı olduğu bunun da ortalama damlacık boyutlarının daha az oluşundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Yüzey gerilimleri incelendiğinde ise genel olarak jelatin nanolifi ile stabilize edilen emülsiyonların yüzey gerilimlerinin jelatin ile stabilize edilen emülsiyonlara göre daha yüksek olduğu ancak konsantrasyon artışı ile azaldığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışma jelatin nanoliflerinin Y/S emülsiyonlarında stabilize edici olarak kullanılabilirliği konusunda değerli bilgiler vermektedir, ancak bu konuda daha fazla araştırmanın yürütülmesi gerekmektedir. Örneğin daha farklı jelatin konsantrasyonlarının etkisinin incelenmesi, farklı pH değerlerinde zeta potansiyeli ve damlacık boyutlarının ölçülmesi, farklı dalga boylarında türbidite hesaplamalarının gerçekleştirilmesi ve farklı koşullarda üretilen nanolifler ile çalışılması gerekmektedir. Aynı zamanda farklı jelatin konsantrasyonlarının ve farklı elektrodöndürme koşullarının nanolif morfolojisine etkisinin de incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- An, K., Liu, H., Guo, S., Kumar, D.N.T., Wang, Q.** (2010). Preparation of fish gelatin and fish gelatin/poly(l_lactide) nanofibers by electrospinning, *International Journal of Biological Macromolecules* **47**, 380-388.
- Andrady, A.L.** (2008). Science and technology of polymer nanofibers, John Willey & Sons, Inc., USA.
- Anton, M., Chapleau, N., Beaumal, V., Delepine, S., Lamballerie-Anton, M.** (2001). Effect of high-pressure treatment on rheology of oil-in-water emulsions prepared with hen egg yolk, *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2**, 9-21.
- Augustin MA, Sanguansri P.** (2006). Nanoscale materials development - A food industry perspective. *Trends Food Sci Techno.* **17**, 547-556.
- Baker, S.C., Atkin, N., Gunning, P.A., Granville, N., Wilson, K., Wilson, D., Southgate, J.** (2006). Characterization of electrospun polystyrene scaffolds for three dimensional in-vitro biological studies, *Biomaterials* **27**, 3136-3146.
- Balcı, H.** (2006). Akıllı (Fonksiyonel) Tekstiller, Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Apre ve Performans Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Bhardwaj, N., Kundu, S.C.** (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique , *Biotechnology Advances* **28**, 325–347.
- Bonino, C., Krebsb, M., Jeong, S., Shearera, K., Alsberg, E., Khana, S.** (2011). Electrospinning alginate basednanofibers: From blends to crosslinked low molecular weight alginate only systems, *Carboh. Polym.* **85**, 111-119.
- Bouyer, E., Mekhloufi, G., Rosilio, V., Grossiord, J.L., Agnely, F.** (2012). Proteins, polysaccharides and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field?, *Intenational Journal of Pharmaceutics* **436**, 359-378.
- Celep, Ş.** (2007). Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Chaudry, Q.** (2010). Nanotechnologies in food, RSC, Great Britain.
- Cho, D., Netravali, A.N., Joo, Y.L.** (2012). Mechanical properties and biodegradability of electrospun soy protein isolate/PVA hybrid nanofibers, *Polymer Degradation and Stability* **97**, 747-754.

- Formhals, A.** (1940). Production of artificial fibers from fiber forming liquids, US Patent Office 2323025.
- Frenot, A., Chronakis, I.S.** (2003). Polymer nanofibers assembled by electrospinning, *Current Opinion in Colloid and Interface Science* **8**, 64–75.
- Guo, Z., Tan, L.** (2009). Fundamentals and Applications of Nanomaterials, Artech House, Norwood.
- Gutierrez JM, Gonzalez C, Maestro A, Sole I, Pey CM, Nolla J.** (2008). Nano-emulsions; New applications and optimization of their preparation, *Current Opinion Colloid Interface Science* **13**, 245–251.
- Haider, S., Park, S.Y.** (2009). Preparation of the electrospun chitosan nanofibers and their applications to the adsorption of Cu(II) and Pb(II) ions from an aqueous solution, *Journal of Membrane Science* **328**, 90–96.
- Han, S.O., Youk, J.H., Min, K.D., Kang, Y.O., Park, W.H.** (2008). Electrospinning of cellulose acetate nanofibers using a mixed solvent of acetic acid/water: Effects of solvent composition on the fiber diameter, *Materials Letters* **62**, 759–762.
- Hoboken, N.J.** (2010). Progress in nanotechnology: processing, Wiley, Westerville, Ohio.
- Homayoni, H., Ravandi, S.A.H., Valizadeh, M.** (2009). Electrospinning of chitosan nanofibers: Processing optimization, *Carbohydrate Polymers* **77**, 656–661.
- How, T.V.,** (1985). USPat. 4,552,707.
- Huang, Z.M., Zhang, Y.Z., Ramakrishna, S., Lim, C.T.** (2004). Electrospinning and mechanical characterization of gelatin nanofibers, *Polymer* **45**, 5361–5368.
- Ifuku, S., Nogi, M., Yoshioka, M., Morimoto, M., Yano, H., Saimoto, H.** (2010). Fibrillation of dried chitin into 10–20 nm fibers by a simple grinding method under acidic conditions, *Carbohydrate Polymers* **81**, 134–139.
- Islam, M.S., Karim, M.R.** (2010). Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/alginate blend nanofibers by electrospinning method, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* **366**, 135–140.
- Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B.** (2008). Re-coalescence of emulsion droplets during high-energy emulsification, *Food Hydrocolloids* **22**, 1191–1202.
- Jegal, S.H., Park, J.H., Kim, J.H., Kim, T.H., Shin, U.S., Kim, T.I., Kim, H.W.** (2011). Functional composite nanofibers of poly (lactide–co-caprolactone) containing gelatin–apatite bone mimetic precipitate for bone regeneration, *Acta Biomaterialia* **7**, 1609–1617.

- Jiang, H., Fang, D., Hsiao, B.S., Chu, B., Chen, W.** (2004). Optimization and Characterization of Dextran Membranes Prepared by Electrospinning, *Biomacromolecules* **5**, 326-333.
- Jiang, Y.N., Mo, H.Y., Yu, D.G.** (2012). Electrospun drug-loaded core–sheath PVP/zein nanofibers for biphasic drug release, *International Journal of Pharmaceutics*.
- Joseph, T., Morrison, M.** (2006). Nanotechnology in agriculture and food, A Nanoforum Report, May., 1-14.
- Karthikeyan, K., Guhathakarta, S., Rajaram, R., Korrapati, P.S.** (2012). Electrospun zein/eudragit nanofibers based dual drug delivery system for the simultaneous delivery of aceclofenac and pantoprazole, *International Journal of Pharmaceutics*.
- Kayaci, K., Uyar, T.** (2012). Electrospun zein nanofibers incorporating cyclodextrins, *Carbohydrate Polymers* **90**, 558–568.
- Keowmaneechai, E., McClements, D.J.** (2002). Influence of EDTA and citrate on physicochemical properties of whey-protein stabilized oil-in-water emulsions containing CaCl_2 , *Journal of Agricultural Food and Chemistry* **50** (24), 7145-7153.
- Khopkar, A.R., Fradette, L., Tanguy, P.A.** (2009). Emulsification capability of a dual shaft mixer, *Chemical Engineering and Design* **87**, 1631-1639.
- Kim, B., Park, H., Lee, S.H., Sigmund, W.M.** (2005). Poly (acrylic acid) nanofibers by electrospinning, *Materials Letters* **59**, 829-832.
- Kim, C.W., Kim, D.S., Kang, S.Y., Marquez, M., Joo, Y.L.** (2006). Structural studies of electrospun cellulose nanofibers, *Polymer* **47**, 5097–5107.
- Kozanoğlu, G.S.** (2006). Elektrospinning Yöntemi İle Nanolif Üretim Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kriegel, C., Kit, K.M., McClements, D.J., Weiss, J.** (2009a). Electrospinning of chitosan–poly(ethylene oxide) blend nanofibers in the presence of micellar surfactant solutions, *Polymer* **50**, 189–200.
- Kriegel, C., Kit, K.M., McClements, D.J., Weiss, J.** (2009b). Influence of Surfactant Type and Concentration on Electrospinning of Chitosan–Poly (Ethylene Oxide) Blend Nanofibers, *Food Biophysics* **4**, 213–228.
- Larrondo L., Manley R.S.J.** (1981). Electrostatic fiber spinning from polymer melts. I. : Experimental observations on fiber formation and properties, *J. Polym Sci, Polym Phys Ed.* **19**, 909–920.
- Ledward, D.A.** (1986). Gelation of gelatin. In: Mitchel VR, Ledward DA, editors. Functional properties of food macromolecules, London, Elsevier Applied Science, pp.171–201.

- Lee, K.H., Kim, H.Y., Bang, H.J., Jung, Y.H., Lee, S.G.** (2003). The change of bead morphology formed on electrospun polystyrene fibers, *Polymer* **44**, 4029–4034.
- Lee, S.J., McClements, D.J.** (2010). Fabrication of protein stabilized nanoemulsions using combined homogenization and amphiphilic solvent dissolution evaporation approach, *Food Hydrocolloids* **24**, 560–559.
- Li, K., Wang, J., Liu, X., Xiong, X., Liu, H.** (2012). Biomimetic growth of hydroxyapatite on phosphorylated electrospun cellulose nanofibers, *Carbohydrate Polymers* **90**, 1573–1581.
- Li, L., Hsieh, Y.L.** (2006). Chitosan bicomponent nanofibers and nanoporous fibers, *Carbohydrate Research* **341**, 374–381.
- López-Rubio, A., Lagaron, J.M.** (2012). Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives, *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **13**, 200–206.
- Ma, G., Fang, D., Liu, Y., Zhu, X., Nie, J.** (2012). Electrospun sodium alginate/poly (ethylene oxide) core-shell nanofibers scaffolds potential for tissue engineering applications, *Carbohydrate Polymers* **87**, 737–743.
- Martin G.E., Cockshott I.D., Fildes F.J.T.** (1977). USPat. 4,044,404.
- McClements, D.J.** (1999). Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques First Ed., CRC Press, Boca Raton, USA.
- Meng, Z.X., Xua, X.X., Zheng, W., Zhoua, H.M., Li, L., Zheng, Y.F., Lou, X.** 2011. Preparation and characterization of electrospun PLGA/gelatin nanofibers as a potential drug delivery system, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **84**, 97–102.
- Meng, Z.X., Wang, Y.S., Ma, C. Zheng, W., Li, L., Zheng, Y.F.** (2010). Electrospinning of PLGA/gelatin randomly-oriented and aligned nanofibers as potential scaffold in tissue engineering, *Materials Science and Engineering C* **30**, 1204–1210.
- Nataraj, S.K., Kim, B.H., Yang, K.S.** (2009). Carbon nanofibers and their applications derived from electrospinning and vapor-grown processes. In: Chang, W.N., editor. Nanofibers : Fabrication, performance, and applications, Nova, New York, pp. 183–225.
- Neo, Y.P., Ray, S., Easteal, A.J., Nikolaidis, M.G., Quek, S.Y.** (2012). Influence of solution and processing parameters towards the fabrication of electrospun zein fibers with sub-micron diameter, *Journal of Food Engineering* **109**, 645–651.
- Nguyen, T.T.T., Chung, O.H., Park, J.S.** (2011). Coaxial electrospun poly (lacticacid)/chitosan (core/shell) composite nanofibers and their antibacterial activity, *Carbohydrate Polymers* **86**, 1799–1806.

- Nirmala, R., Navamathavan, R., Kang, H.S., Newehy, M.A., Kim, H.Y.** (2011). Preparation of polyamide-6/chitosan composite nanofibers by a single solvent system via electrospinning for biomedical applications, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **83**, 173–178.
- Norton, J.E., Fryer, P.J.** (2012). Investigations of changes in formulation and processing parameters on the pyhsical properties of cocoa butter emulsions, *Journal of Food Engineering* **113**, 329-336.
- Panzavolta, S., Gioffrè, M., Focarete, M.L., Gualandi, C., Foroni, L., Bigi, A.** (2011). Electrospun gelatin nanofibers: Optimization of genipin cross-linking to preserve fiber morphology after exposure to water, *Acta Biomaterialia* **7**, 1702–1709.
- Perrechil, F.A., Cunha, R.L.** (2010). Oil-in water emulsions stabilized by sodium caseinate: Influence of pH, high-pressure homogenization and locust bean gum addition, *Journal of Food Engineering* **97**, 441-448.
- Pradeep, T.** (2008). *Nano: The Essentials Understanding Nanoscience and Nanotechnology*, McGraw Hill, USA.
- Pray, L., Yaktine, A.** (2009). *Nanotechnology in food products: workshop summary*, National Academies Press, Washington.
- Rao, J., McClements, D.J.** (2011). Food-grade microemulsions, nanoemulsions and nanoemulsions: Fabrication from sucrose monopalmitate & lemon oil, *Food Hydrocolloids* **25**, 1413-1423.
- Ren, G., Xu, X., Liu, Q, Cheng, J., Yuan, X., Wu, L., Wan, Y.** (2006). Electrospun poly(vinyl alcohol)/glucose oxidase biocomposite membranes for biosensor applications, *Reactive and Functional Polymers* **66**, 1559-1564.
- Reneker D.H, Chun L.** (1996). Nanometre diameters of polymer, produced by electrospinning, *Nanotechnology* **7**, 216–23.
- Rubinstein, M., Colby, R.H.** (2003). *Polymer Physics*, Oxford Press, Oxford.
- Schubert, H., Engel, R.** (2004). Product and formulation engineering of emulsions, *Chemical Engineering Research and Design* **82(A9)**, 1137–1143.
- Shalumon, K.T., Anulekha, K.H., Nair, S.V., Chennazhi, K.P., Jayakuma, R.** (2011). Sodium alginate/poly (vinyl alcohol)/nano ZnO composite nanofibers for antibacterial wound dressings, *International Journal of Biological Macromolecules* **49**, 247–254.
- Shiffmann, J. D., Schauer, C.L.** (2008). Electrospinning of biopolymer nanofibers and their applications, *Polym. Rev.* **48(2)**, 317-352.
- Simm W, Gosling C, Bonart R, Von Falkai, B.** (1978). USPat 4,069,026.
- Simons, H.L.,** (1966). USPat. 3,280,229.

- Son, W.K., Youk, J.H., Lee, T.S., Park, W.H.** (2004). The effects of solution properties and polyelectrolyte on electrospinning of ultrafine poly (ethylene oxide) fibers, *Polymer* **45**, 2959-2966.
- Son, W.K., Youk, J.H., Park, W.H.** (2006). Antimicrobial cellulose acetate nanofibers containing silver nanoparticles, *Carbohydrate Polymers* **65**, 430–434.
- Sovilj, V., Milanovic, J., Petrovic, L.** (2013). Influence of gelatin-sodium stearyl lactylate interaction on the rheological properties of gelatin gels, *Colloids and Surfaces A: Pyhsicochem. Eng. Aspects* **417**, 211-216.
- Sozer, N., Kokini, J.L.** (2008). Nanotechnology and its applications in the food sector, *Trends in biotechnology* **27**, 82-89.
- Surh, J., Decker, E.A., McClements, D.J.** (2006). Properties and stability of Oil-in water emulsions stabilized by fish gelatin, *Food Hydrocolloids* **20**, 596-606.
- Taepaiboon, P., Rungsardthon, U., Supaphol, P.** (2007). Vitamin-loaded electrospun cellulose acetate nanofiber as transdermal and dermal therapeutic agents of vitamin A acid and vitamin E, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* **67**, 387–397.
- Taylor, G. I.** (1964). Disintegration of water drops in an electric field, *Proc. R. Soc. London, Ser. A* **280**, 383.
- Taylor, G. I.** (1966). The circulation produced in a drop by an electric field, *Proc. R. Soc. London* **291**, 159.
- Torres-Giner, S., Gimenez, E., Lagaron, J.M.** (2008). Characterization of the morphology and thermal properties of Zein Prolamine nanostructures obtained by electrospinning, *Food Hydrocolloids* **22**, 601–614.
- Toskas, G., Hund, R.D., Laourine, E., Cheri, C., Smyrniotopoulos, V., Roussis, V.** (2011). Nanofibers based on polysaccharides from the green seaweed *Ulva Rigida*, *Carbohydrate Polymers* **84**, 1093–1102.
- Uldrich, J., Newberry, D.** (2008). *The Next Big Thing Is Really Small: How Nanotechnology Will Change the Future of Your Business*, Crown Business, New York.
- Unnithan, A.R., Barakat, N.A.M., Pichiah, P.B.T., Gnanasekaran, G., Nirmala, R., Cha, Y.S., Jung, C.H., Newehy, M.E., Kim, H.Y.** (2012). Wound-dressing materials with antibacterial activity from electrospun polyurethane–dextran nanofiber mats containing ciprofloxacin HCl, *Carbohydrate Polymers* **90**, 1786–179.
- Velez-Ruiz, J.F.** (2009). Rheological properties of vegetal fluids. In: Sosa-Morales, M.E., Velez-Ruiz, J.F., editors. *Food processing and engineering Topics*, Nova, New York, pp. 3-35.
- Wang, B., Li, D., Wang, L.J., Adhikari, B., Shi, J.** (2010). Ability of flaxseed and Soybean protein concentrates to stabilize oil-in-water emulsions, *Journal of Food Engineering* **100**, 417-426.

- Windhab, E.J., Dressler, M., Feigl, K., Fischer, P., Megias-Alguacil, D.** (2005). Emulsion processing: From single drop deformation to design of complex processes and products, *Chemical Engineering Science* **60**, 2101-2113.
- Woerdeman, D.L., Ye, P., Shenoy, S., Parnas, R.S., Wnek, G.E., Trofimova, O.** (2005). Electrospun Fibers from Wheat Protein: Investigation of the Interplay between Molecular Structure and the Fluid Dynamics of the Electrospinning Process, *Biomacromolecules* **6**, 707-712.
- Wongsasulak, S., Patapeejumruswong, M., Weiss, J., Supaphol, P., Yoovidhya, T.** (2010). Electrospinning of food-grade nanofibers from cellulose acetate and egg albumen blends, *Journal of Food Engineering* **98**, 370–376.
- Yang, D., Li, Y., Nie, J.** (2007). Preparation of gelatin/PVA nanofibers and their potential application in controlled release of drugs, *Carbohydrate Polymers* **69**, 538-543.
- Yarin, A.L., Sinha-Ray, S., Pourdeyhimi, B.** (2011). Meltblowing: Multiple polymer jets and fiber-size distribution and lay-down patterns, *Polymer* **52**, 2929-2938.
- Yu, D.G., Yu, J.H., Chen, L., Williams, G.R., Wang, X.** (2012). Modified coaxial electrospinning for the preparation of high-quality ketoprofen-loaded cellulose acetate nanofibers, *Carbohydrate Polymers* **90**, 1016–1023.
- Zhang, L., Menkhaus, T.J., Fong, H.** (2008). Fabrication and bioseparation studies of adsorptive membranes/felts made from electrospun cellulose acetate nanofibers, *Journal of Membrane Science* **319**, 176–184.
- Zhang, Y.Z., Venugopal, J.R., Turki, A.E., Ramakrishna, S., Su, B., Lim, C.T.** (2008). Electrospun biomimetic nanocomposite nanofibers of hydroxyapatite/chitosan for bone tissue engineering, *Biomaterials* **29**, 4314–4322.
- Zhang, Y.Z., Venugopal, J., Huang, Z.M., Lim, C.T., Ramakrishna, S.** (2006). Crosslinking of the electrospun gelatin nanofibers, *Polymer* **47**, 2911–2919.
- Ziani, K., Henrist, C., Jérôme, C., Aqil, A., Maté, J.I., Cloots, R.** (2011). Effect of nonionic surfactant and acidity on chitosan nanofibers with different molecular weights, *Carbohydrate Polymers* **83**, 470–476.

EKLER

EK A : Y/S emülsiyonlarının 1. gün zeta potansiyeli (ζ) ölçümleri.

EK B : Y/S emülsiyonlarının 8. gün zeta potansiyeli (ζ) ölçümleri.

EK C : Y/S emülsiyonlarının 15. gün zeta potansiyeli (ζ) ölçümleri.

EK D : Y/S emülsiyonlarının 1. gün damlacık boyutu dağılımı ölçümleri.

EK E : Y/S emülsiyonlarının 8. gün damlacık boyutu dağılımı ölçümleri.

EK F : Y/S emülsiyonlarının 15. gün damlacık boyutu dağılımı ölçümleri.

EK G : Y/S emülsiyonlarının 1., 8. ve 15. gün absorbans ölçümleri.

EK H : Y/S emülsiyonlarının 1., 8. ve 15. günde hesaplanan türbidite (m^{-1}) değerleri.

EK I : Y/S emülsiyonlarının yüzey gerilimleri.

EK J : Y/S emülsiyonlarının reolojik ölçümleri.

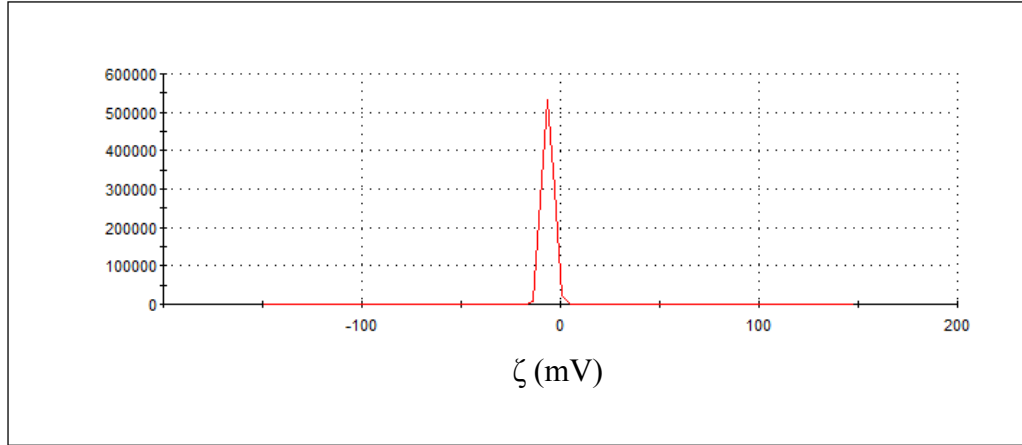
EK K : Y/S emülsiyonlarının serum ayrışmaları ve kremleşme indeksleri.

EK L : Elektrodöndürme cihazına beslenen jelatin çözeltilerinin reolojik ölçümleri.

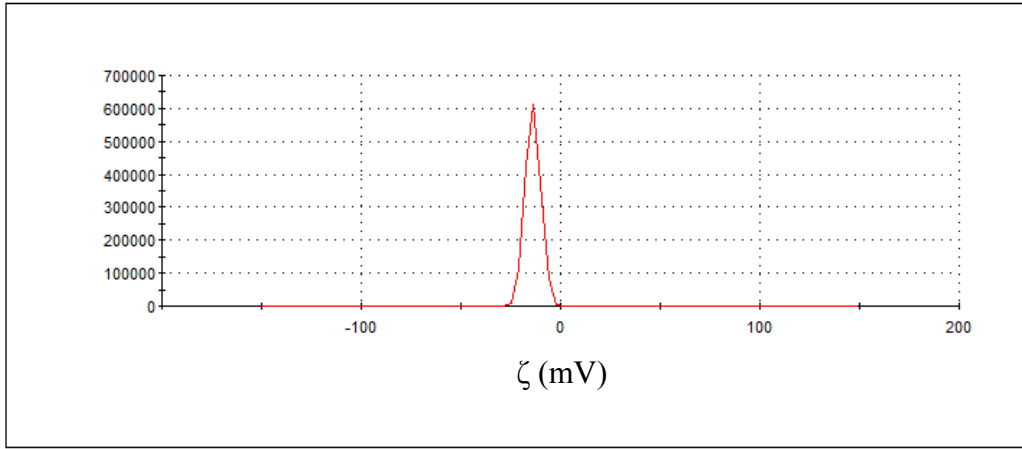
EK M : Jelatin ve jelatin nanoliflerinin zeta potansiyelleri.

EK N : Kullanılan cihazlar.

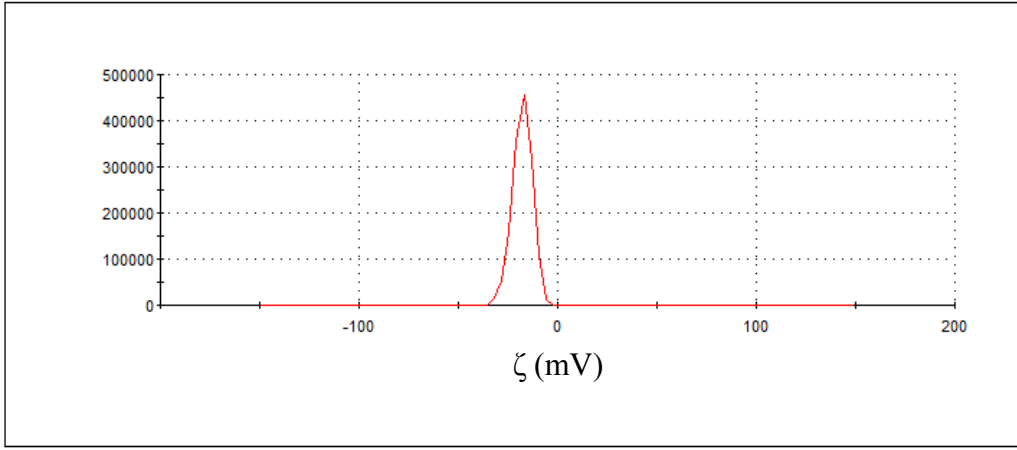
EK A : Y/S emülsiyonlarının 1. gün zeta potansiyeli (ζ) ölçümleri.



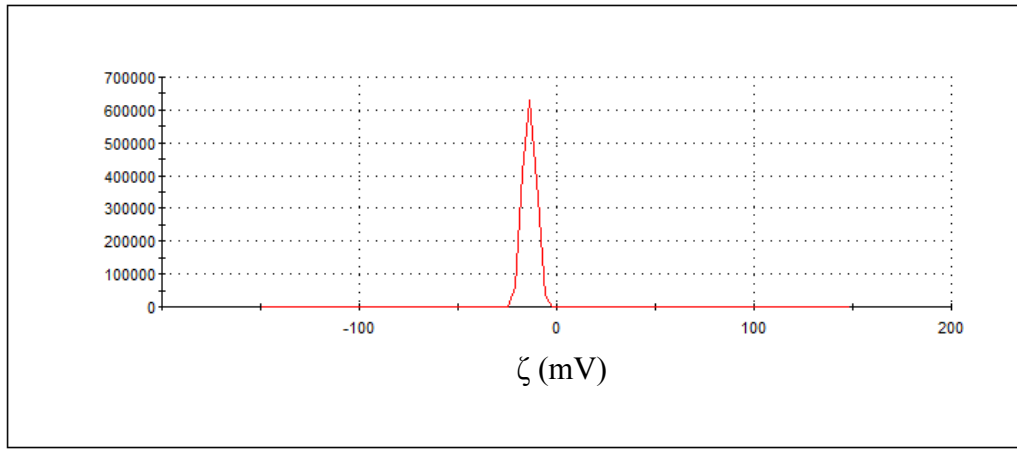
Şekil A.1 : J emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



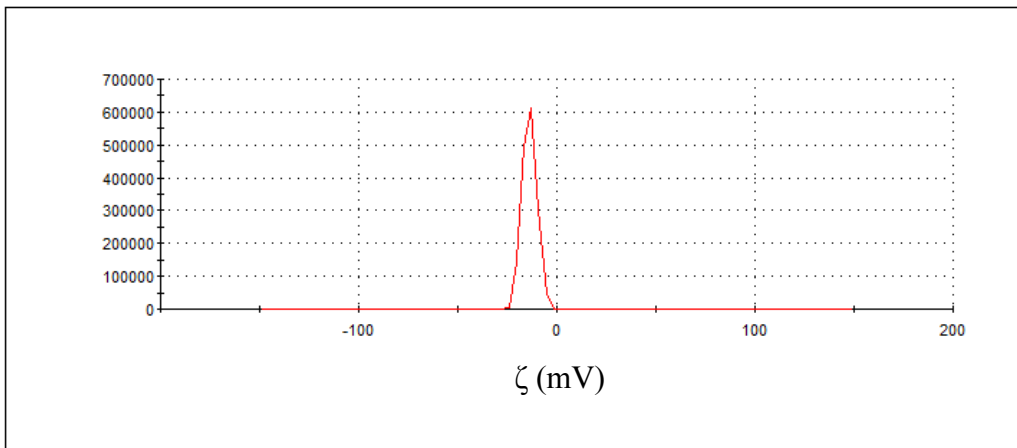
Şekil A.2 : J emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



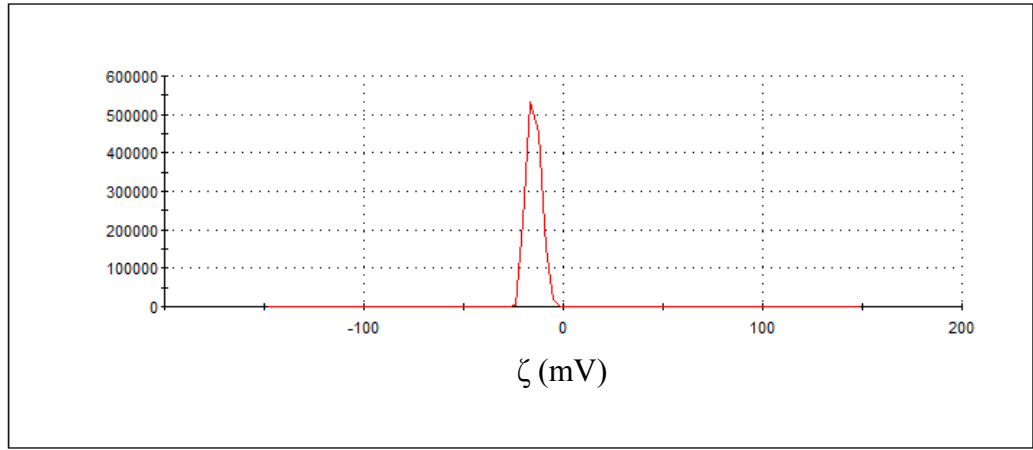
Şekil A.3 : K emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



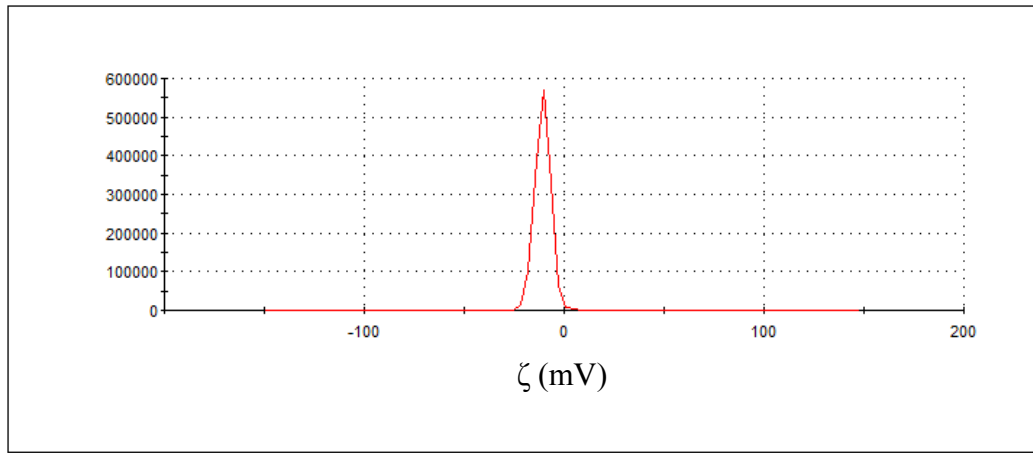
Şekil A.4 : K emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



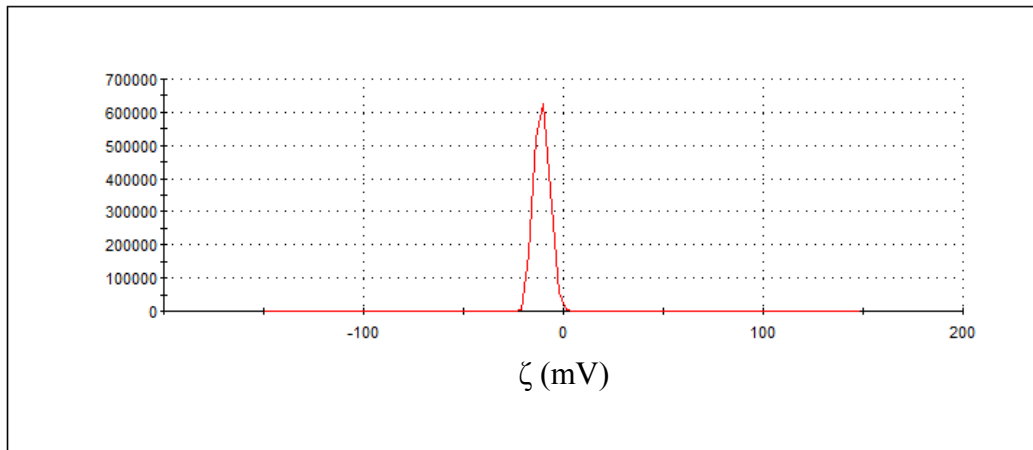
Şekil A.5 : L emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



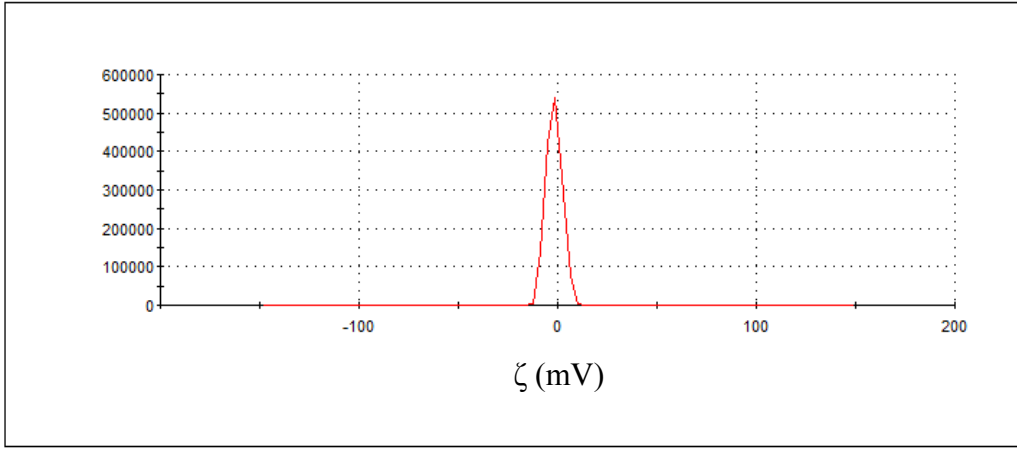
Şekil A.6 : L emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



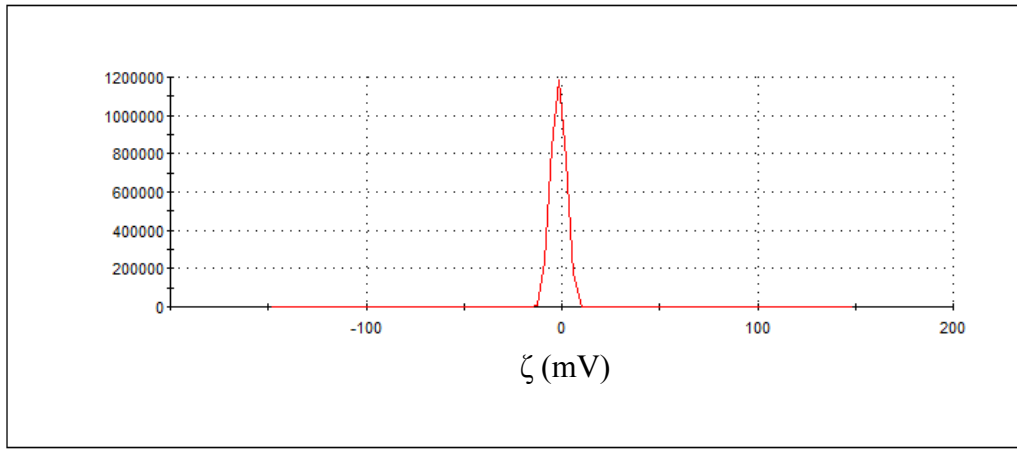
Şekil A.7 : M emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



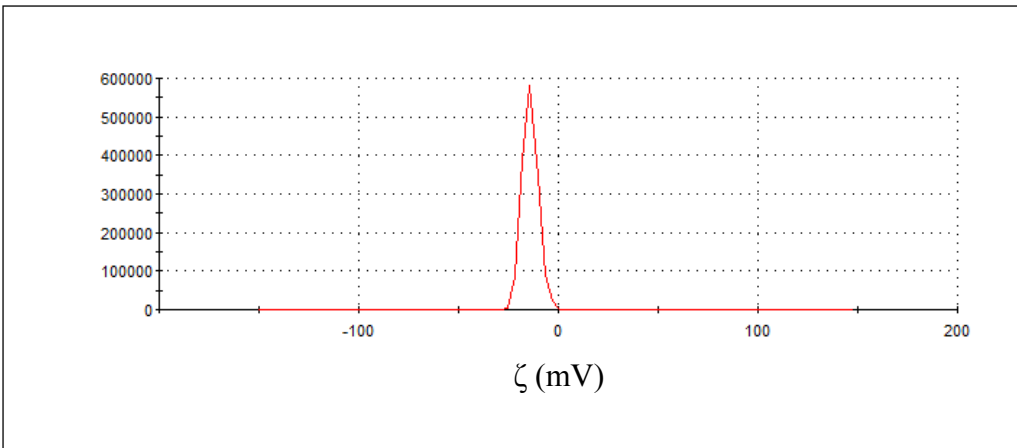
Şekil A.8 : M emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



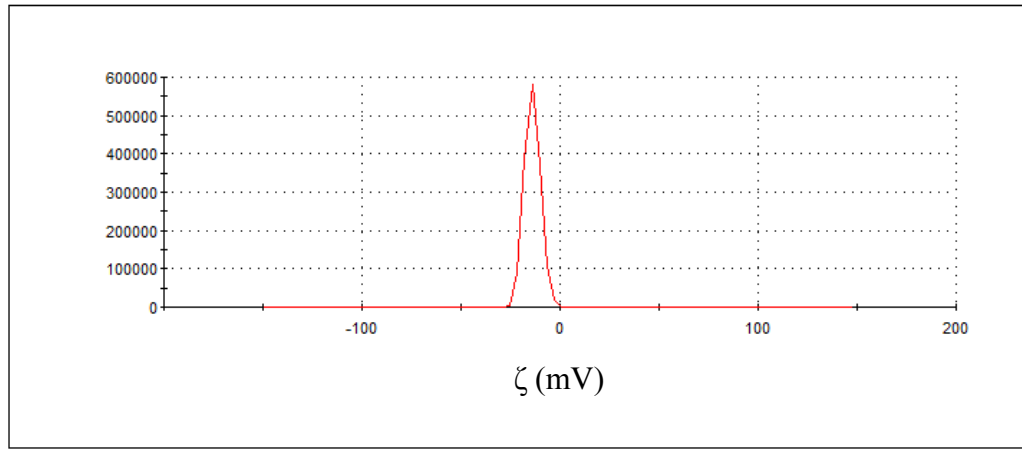
Şekil A.9 : N emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



Şekil A.10 : N emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.

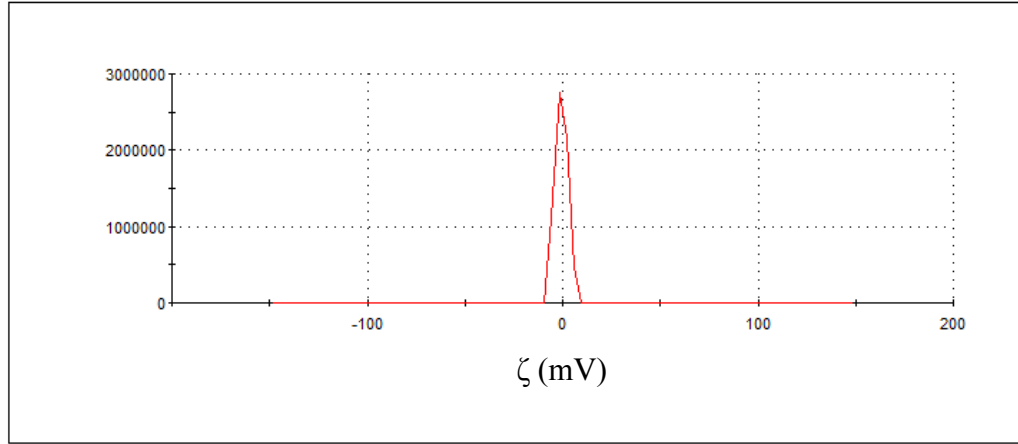


Şekil A.11 : O emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.

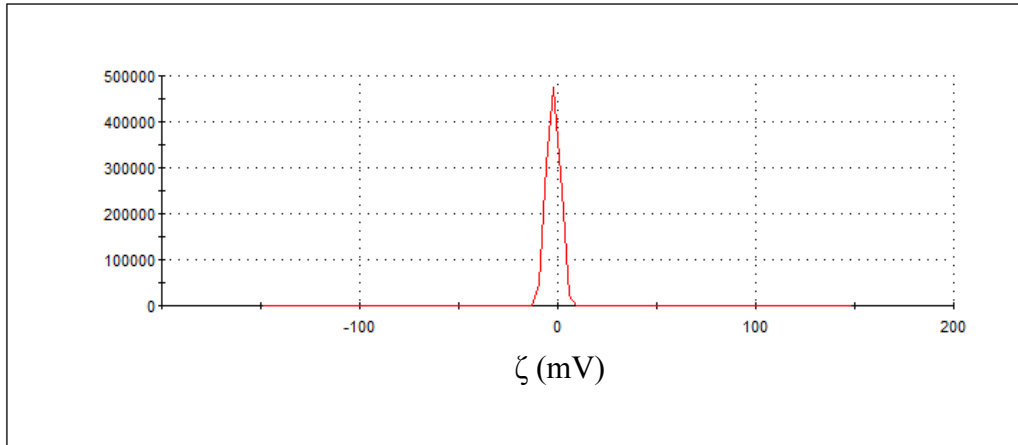


Şekil A.12 : O emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.

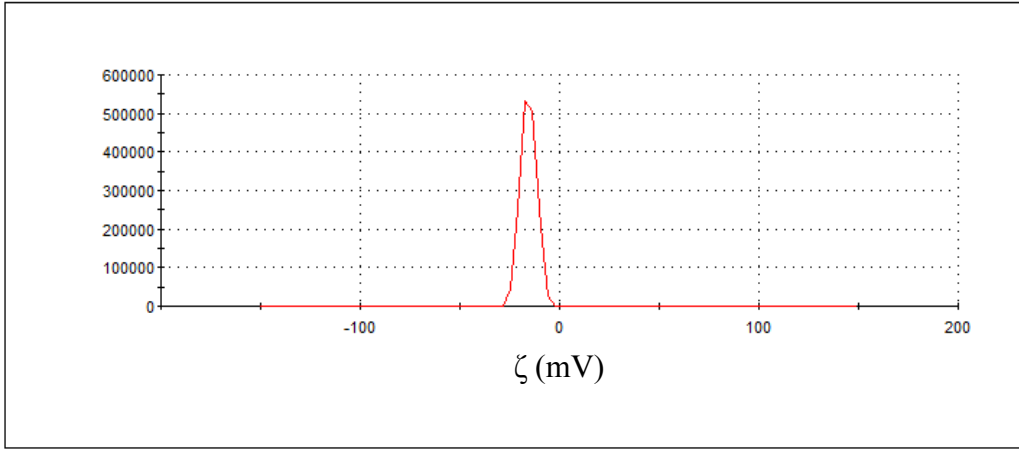
EK B : Y/S emülsiyonlarının 8. gün zeta potansiyeli (ζ) ölçümleri.



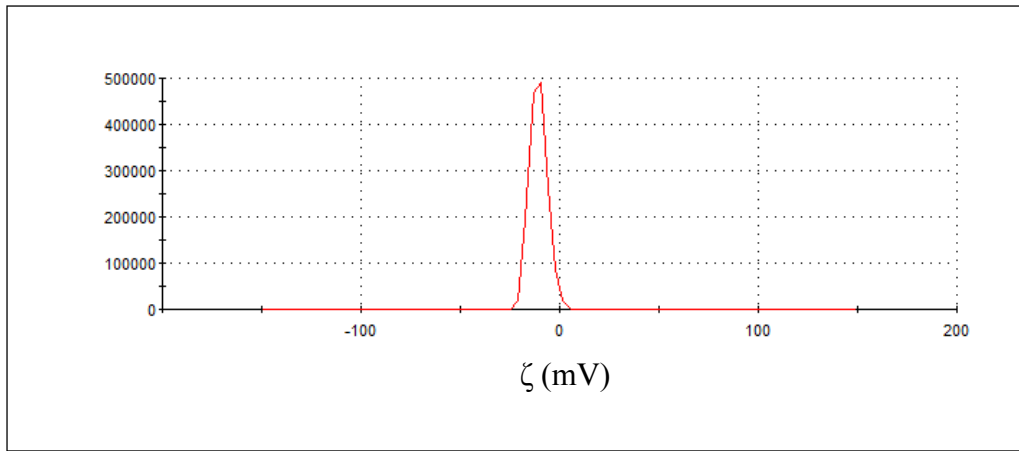
Şekil B.1 : J emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



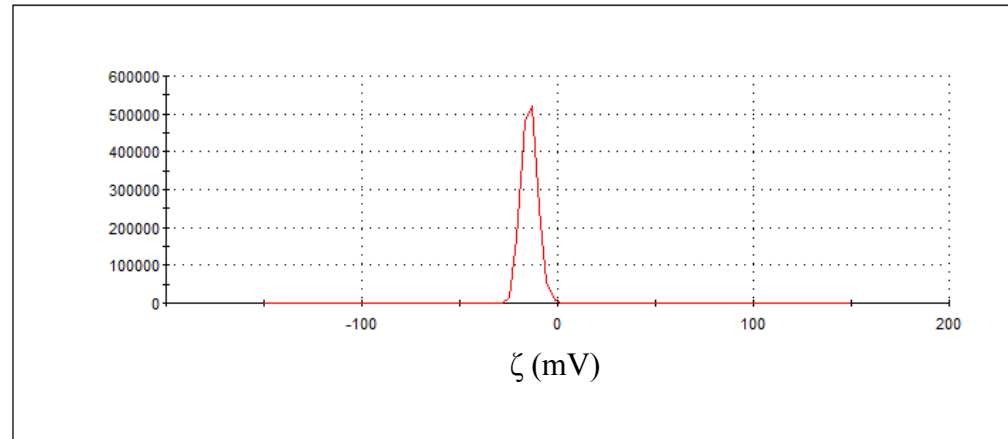
Şekil B.2 : J emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



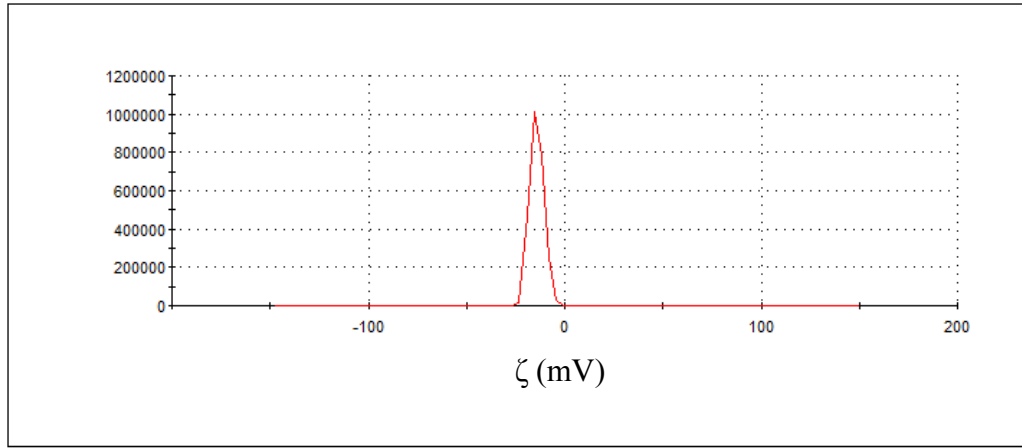
Şekil B.3 : K emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



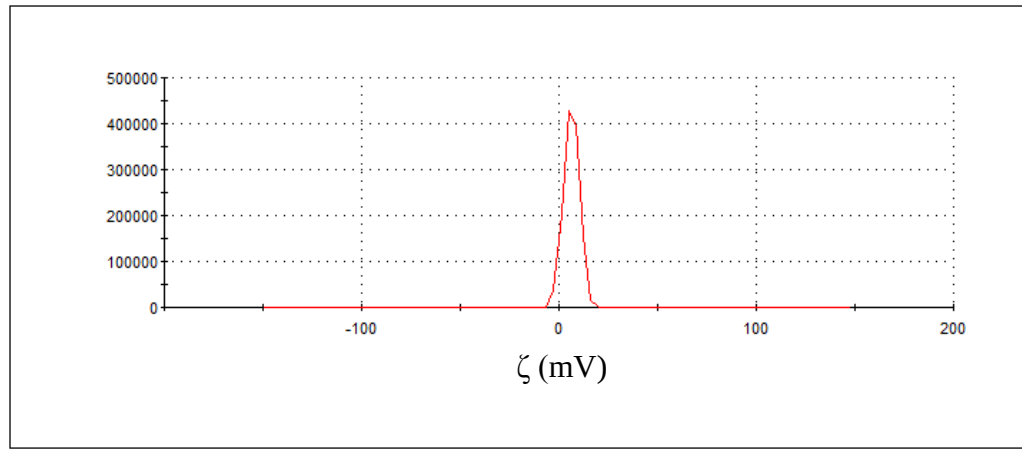
Şekil B.4 : K emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



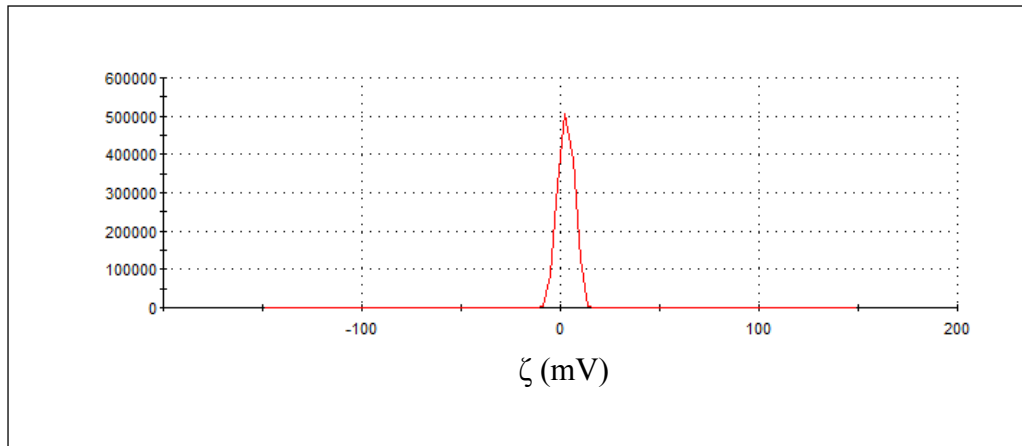
Şekil B.5 : L emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



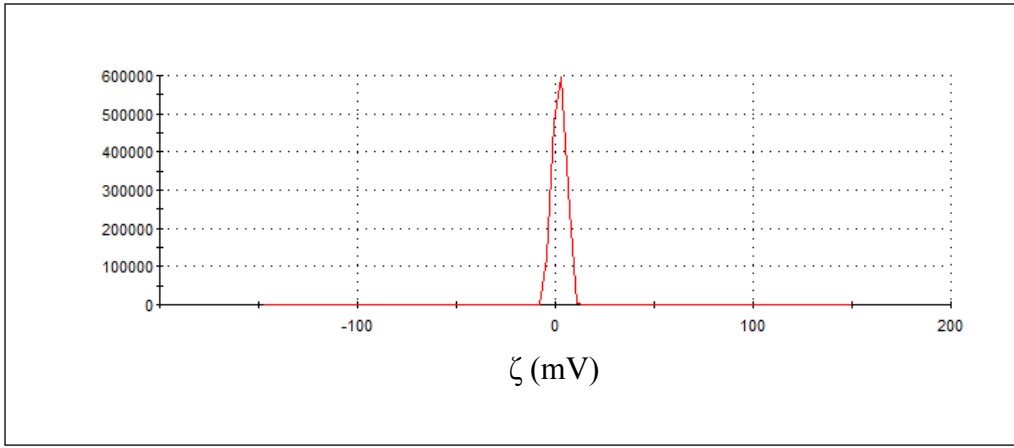
Şekil B.6 : L emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



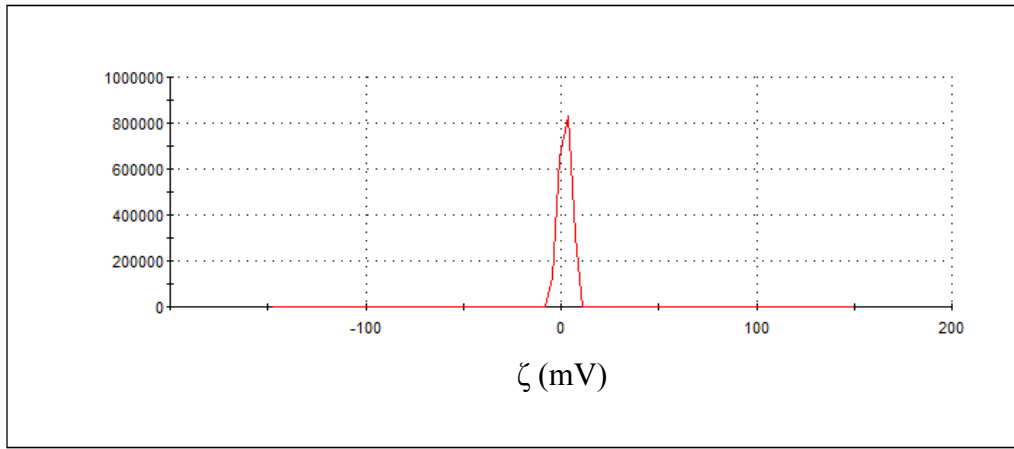
Şekil B.7 : M emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



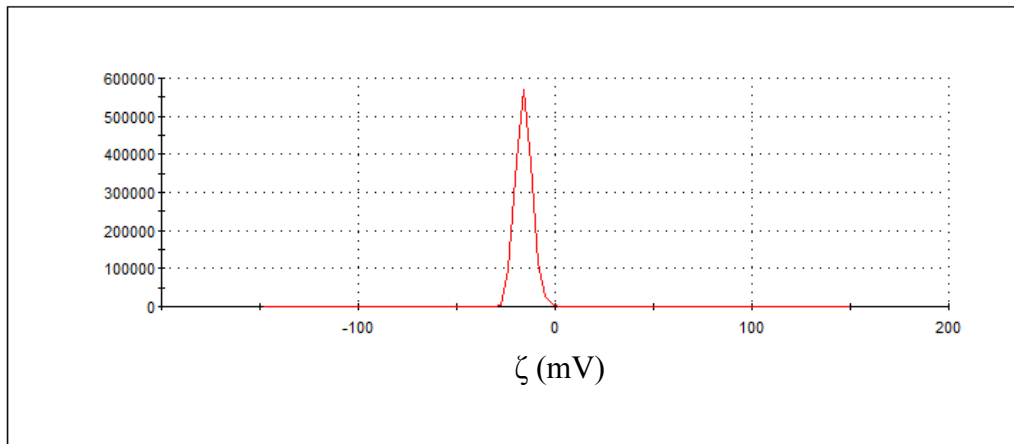
Şekil B.8 : M emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



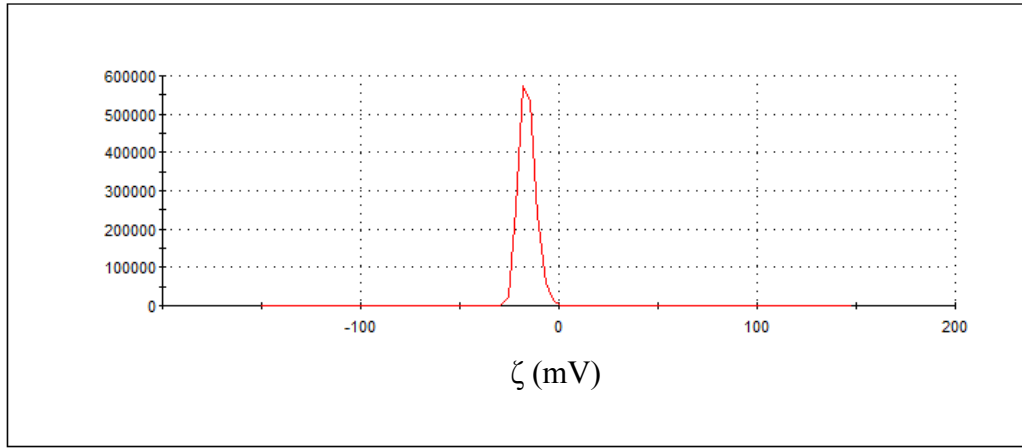
Şekil B.9 : N emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



Şekil B.10 : N emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.

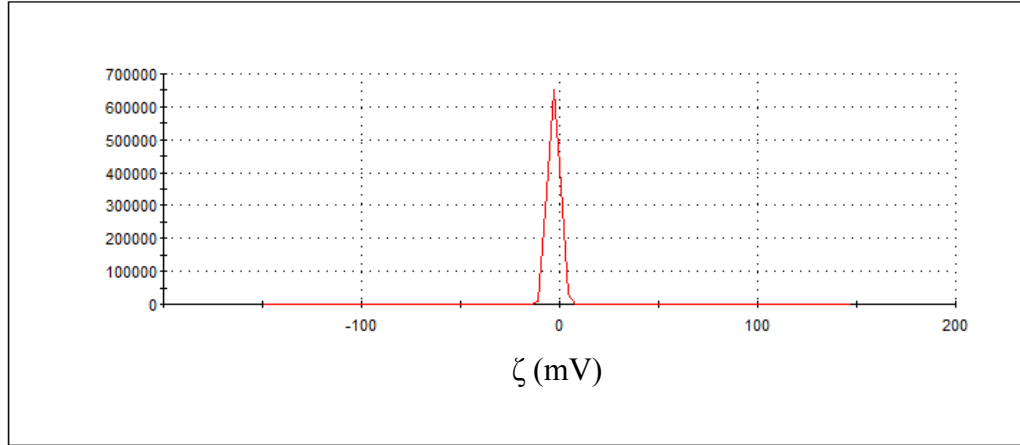


Şekil B.11 : O emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.

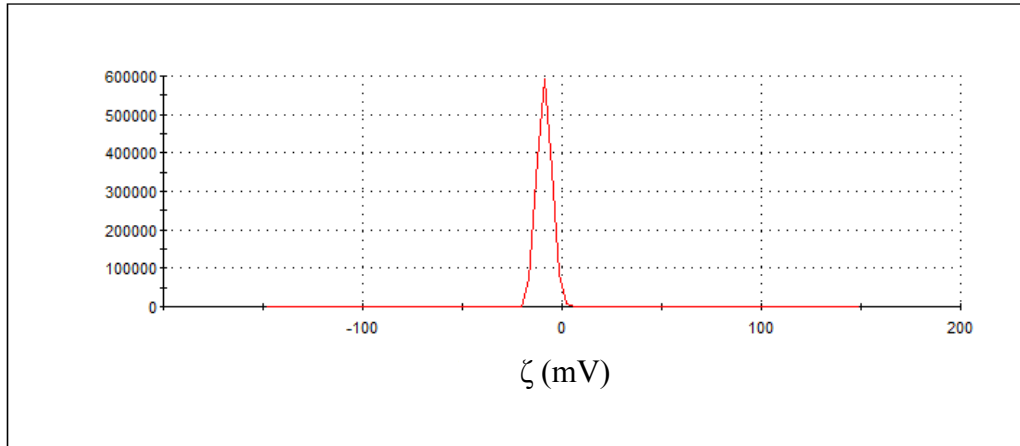


Şekil B.12 : O emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.

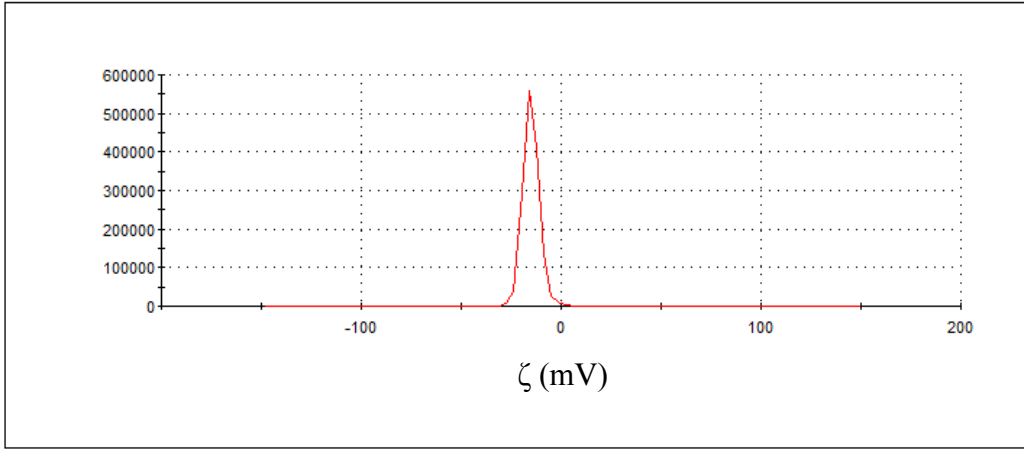
EK C : Y/S emülsiyonlarının 15. gün zeta potansiyeli (ζ) ölçümleri.



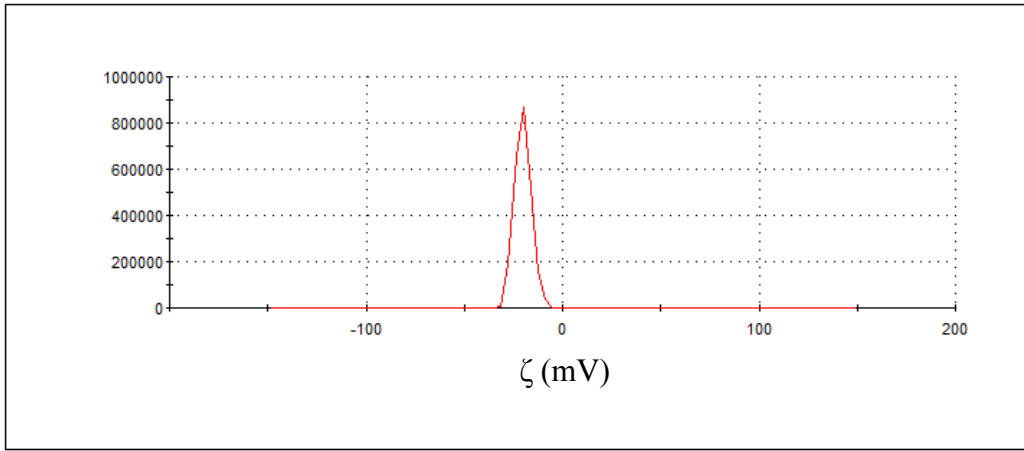
Şekil C.1 : J emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



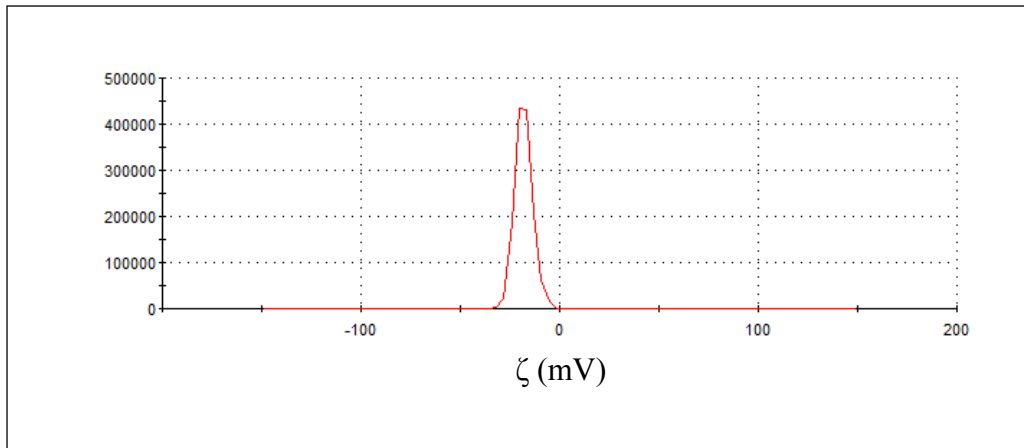
Şekil C.2 : J emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



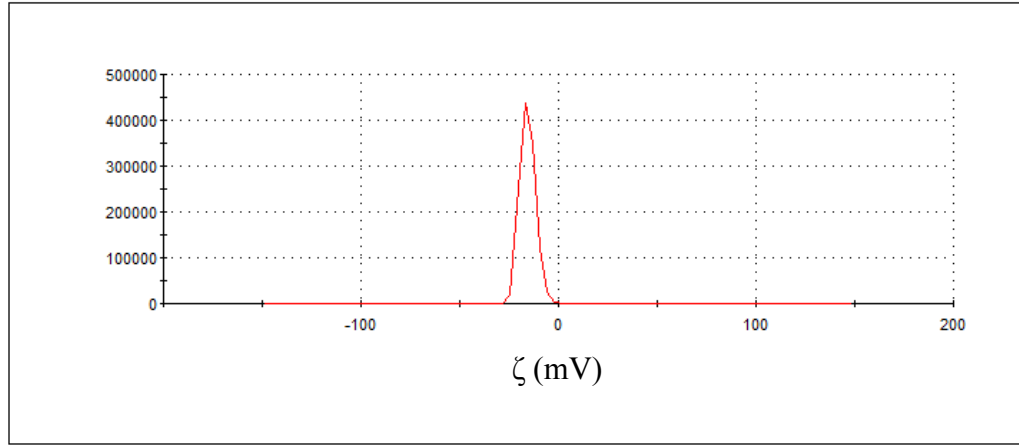
Şekil C.3 : K emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



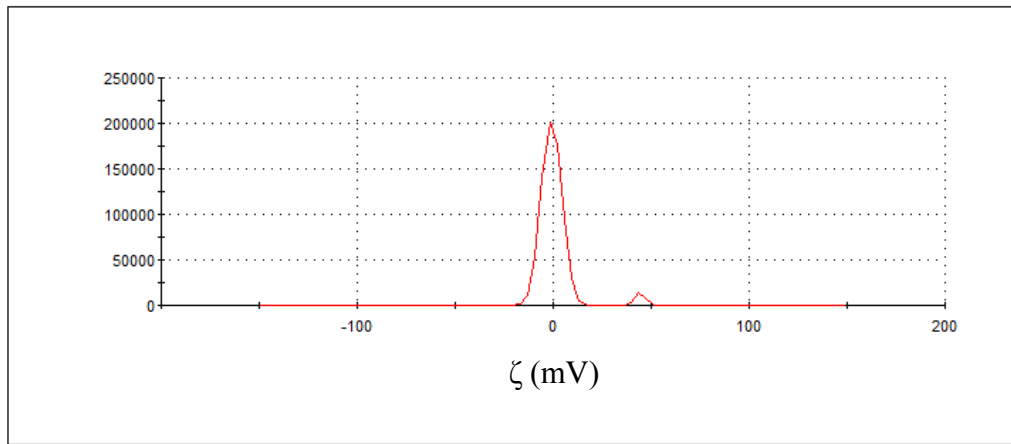
Şekil C.4 : K emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



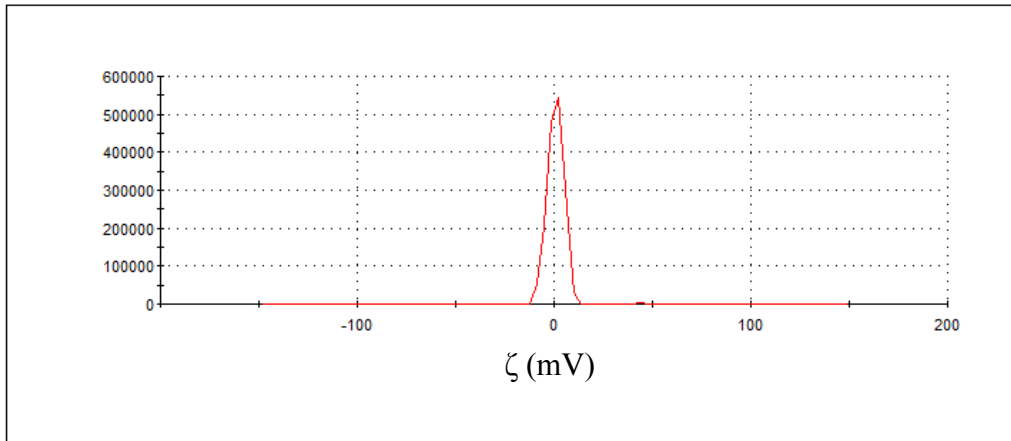
Şekil C.5 : L emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



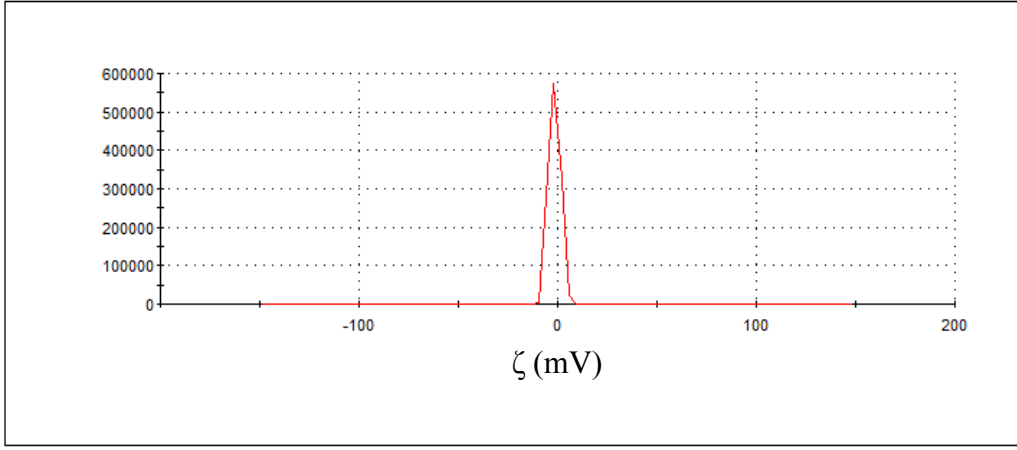
Şekil C.6 : L emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



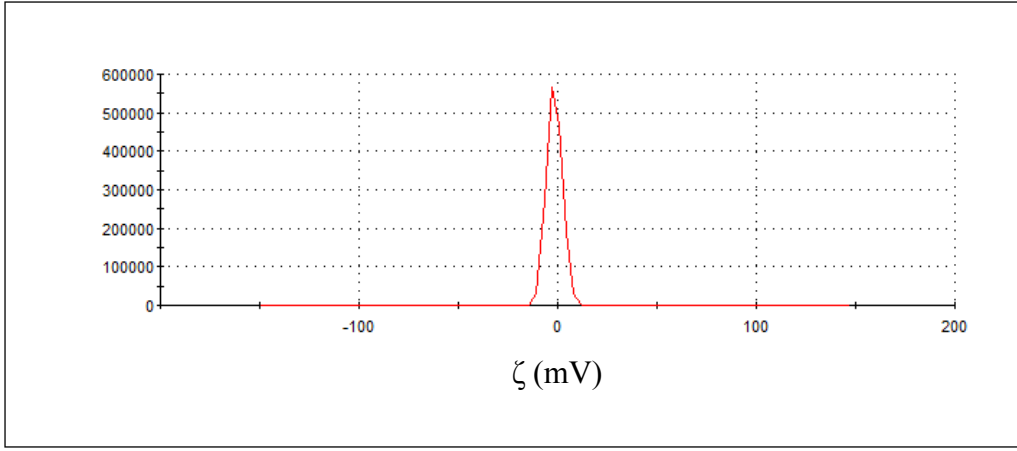
Şekil C.7 : M emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



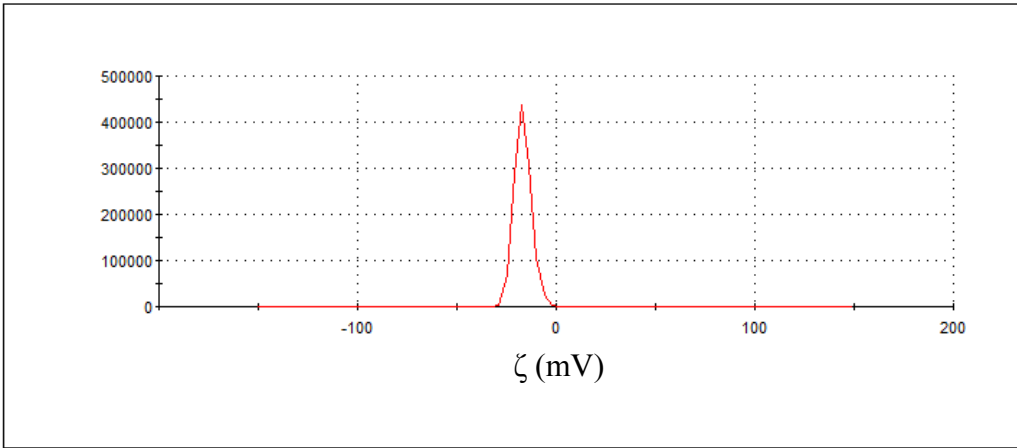
Şekil C.8 : M emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.



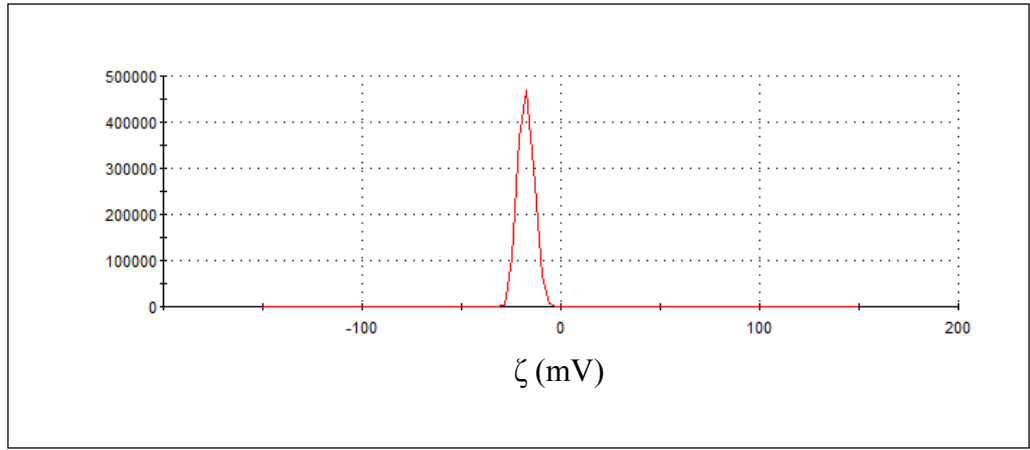
Şekil C.9 : N emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.



Şekil C.10 : N emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.

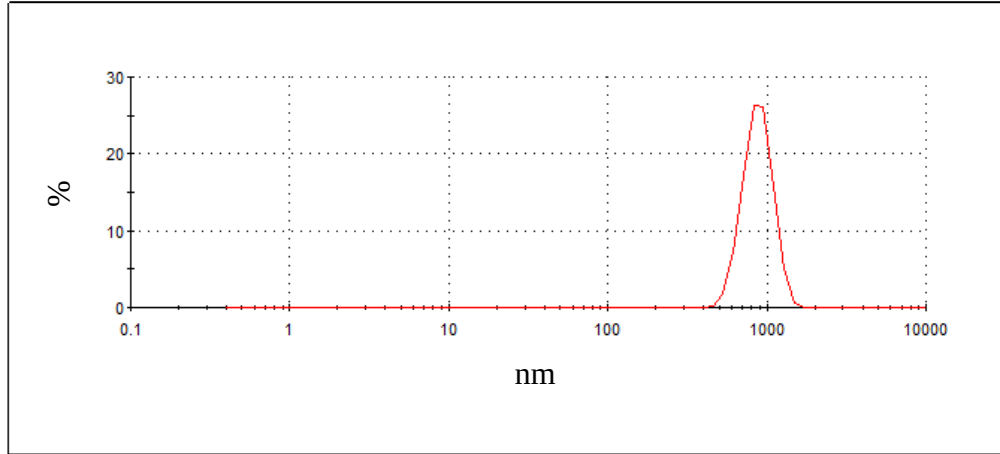


Şekil C.11 : O emülsiyonu 1. paralel ortalama zeta potansiyeli.

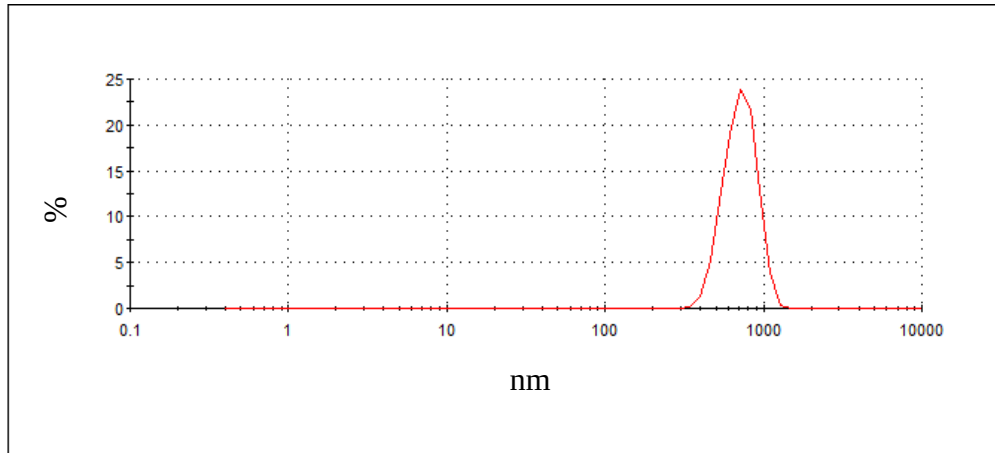


Şekil C.12 : O emülsiyonu 2. paralel ortalama zeta potansiyeli.

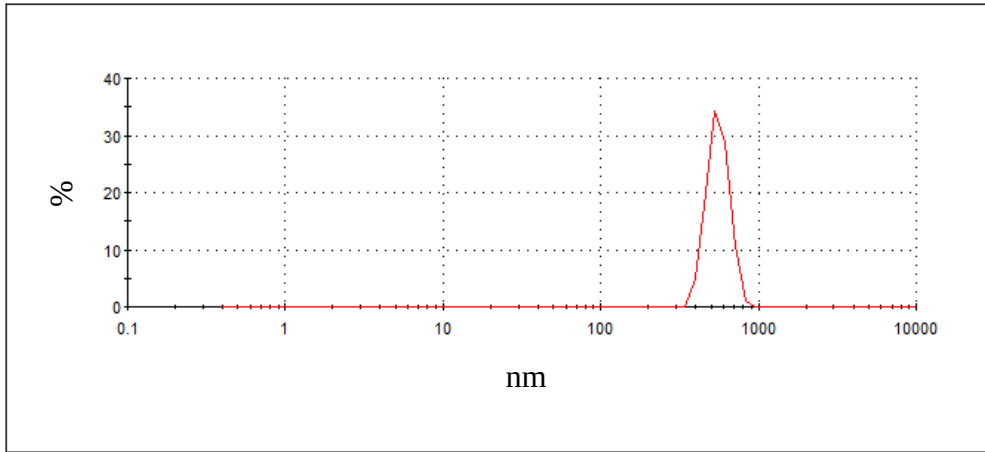
EK D : Y/S emülsiyonlarının 1. gün damlacık boyutu dağılımı ölçümleri.



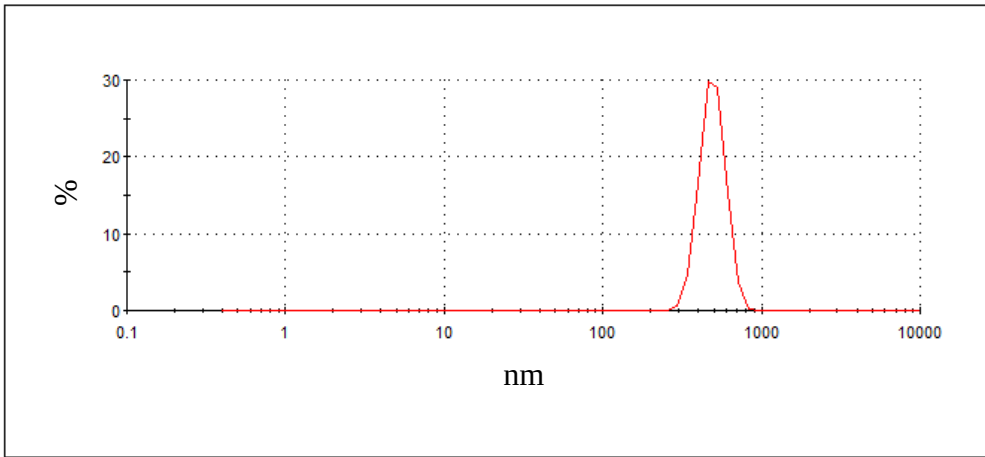
Şekil D.1 : J emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



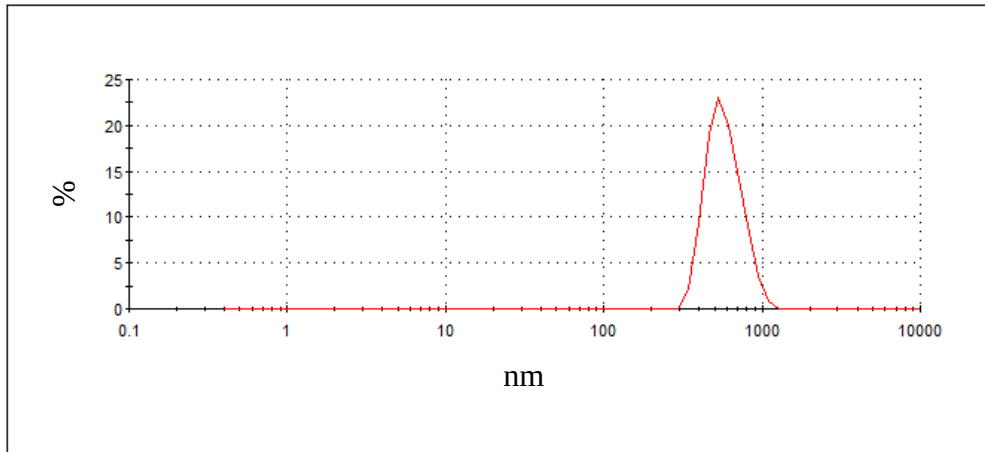
Şekil D.2 : J emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



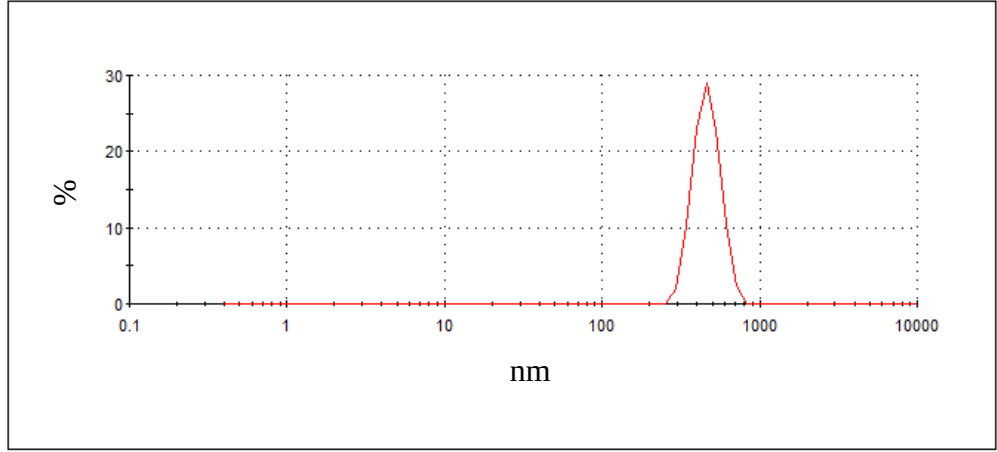
Şekil D.3 : K emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



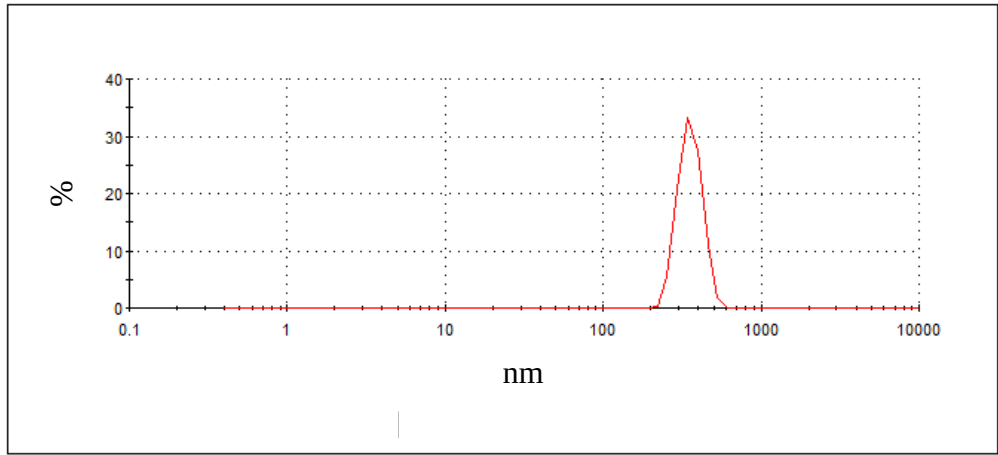
Şekil D.4 : K emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



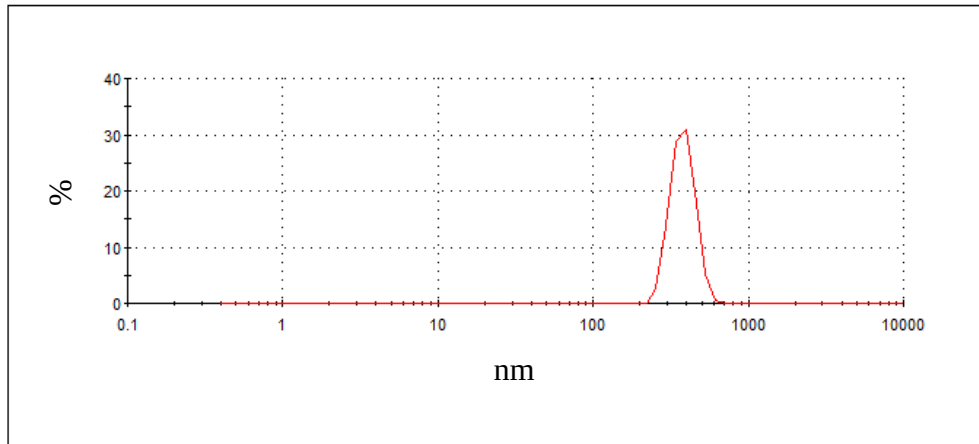
Şekil D.5 : L emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



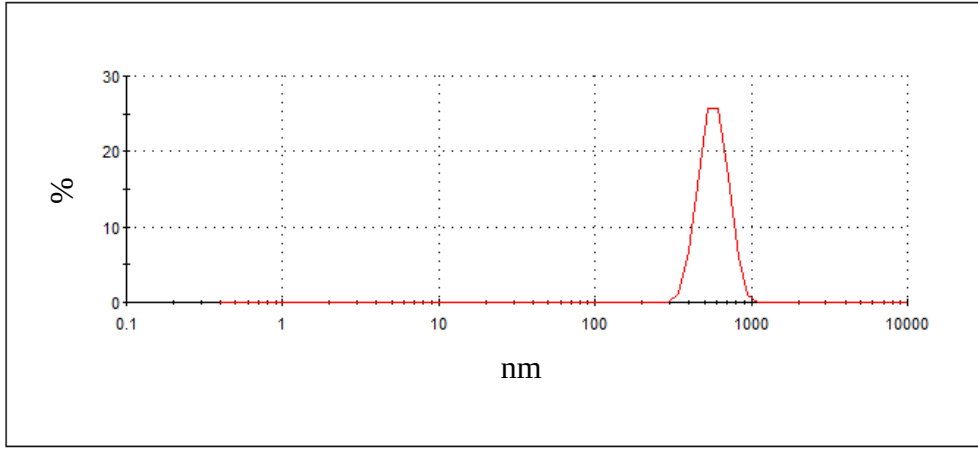
Şekil D.6 : L emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



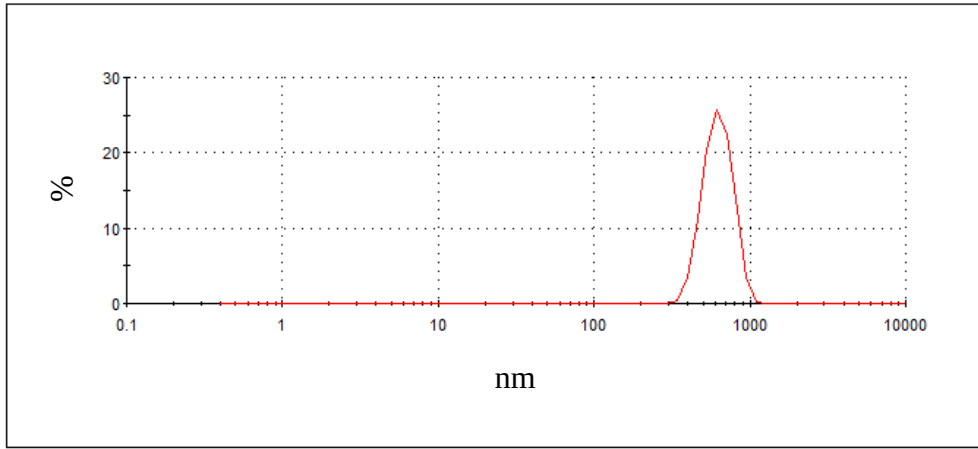
Şekil D.7 : M emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



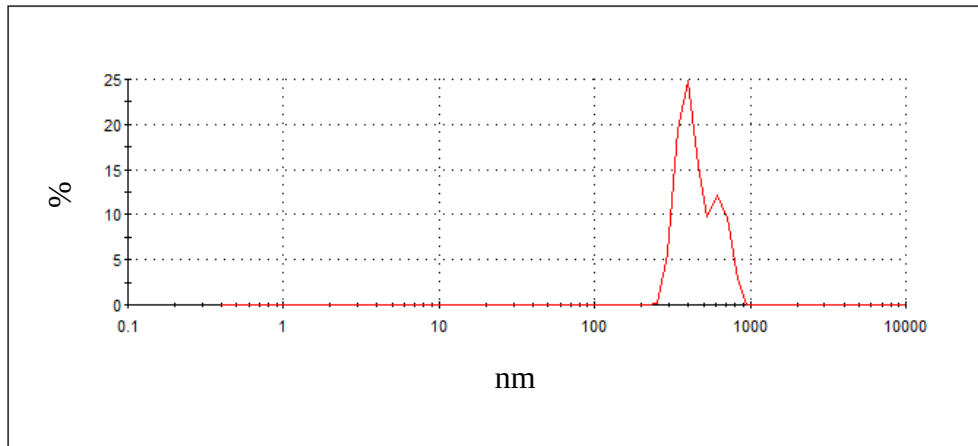
Şekil D.8 : M emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



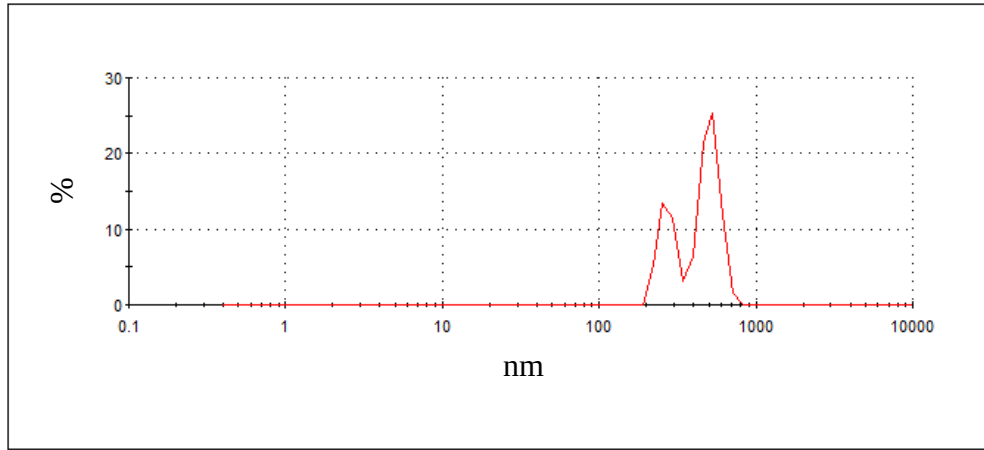
Şekil D.9 : N emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



Şekil D.10 : N emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.

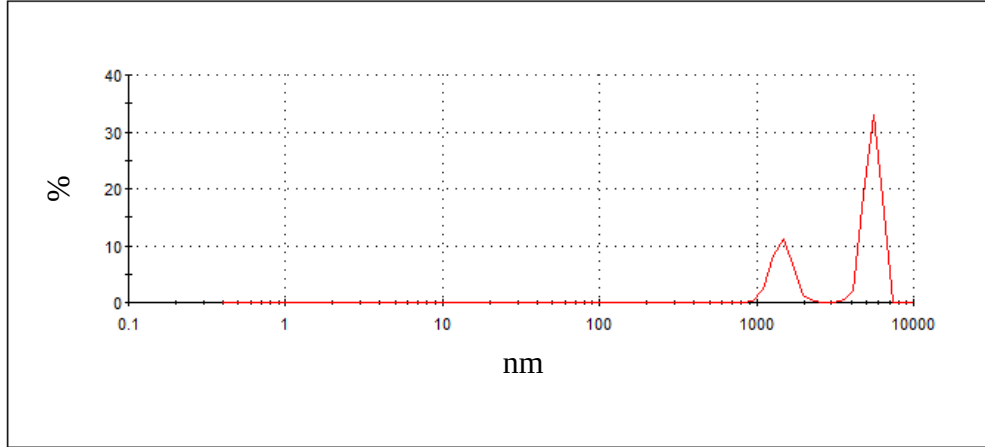


Şekil D.11 : O emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.

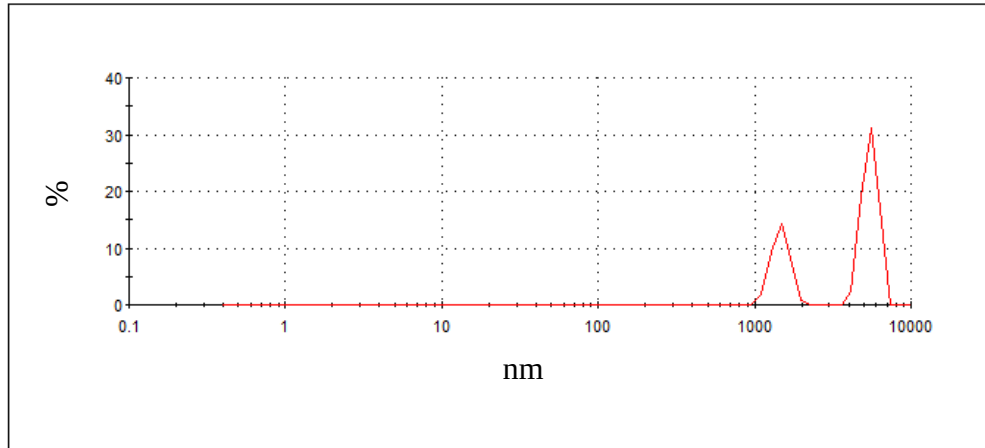


Şekil D.12 : O emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.

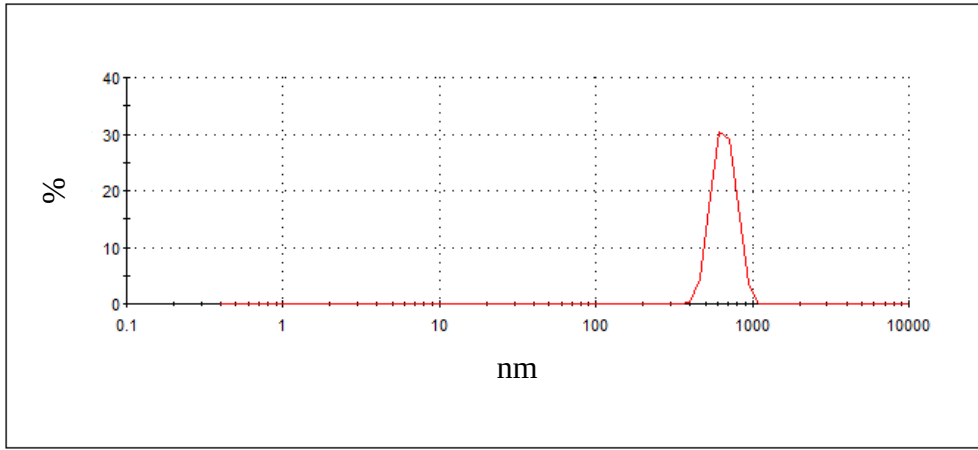
EK E : Y/S emülsiyonlarının 8. gün damlacık boyutu dağılımı ölçümleri.



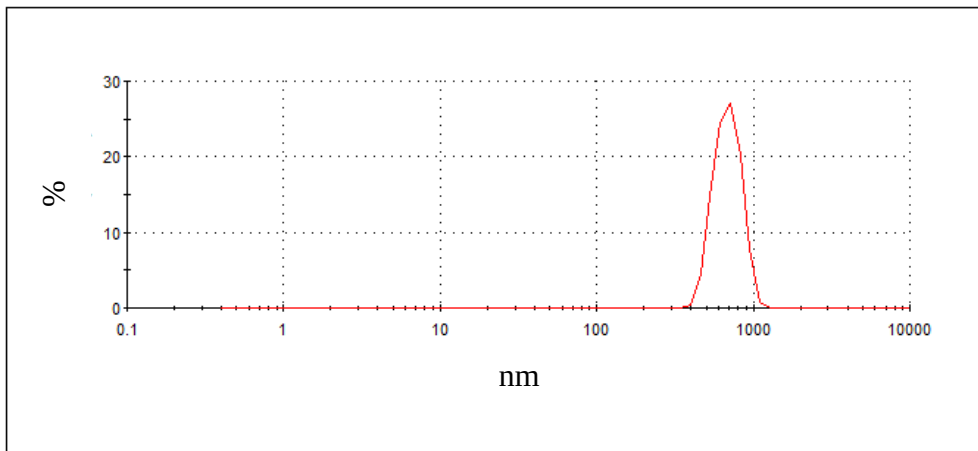
Şekil E.1 : J emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



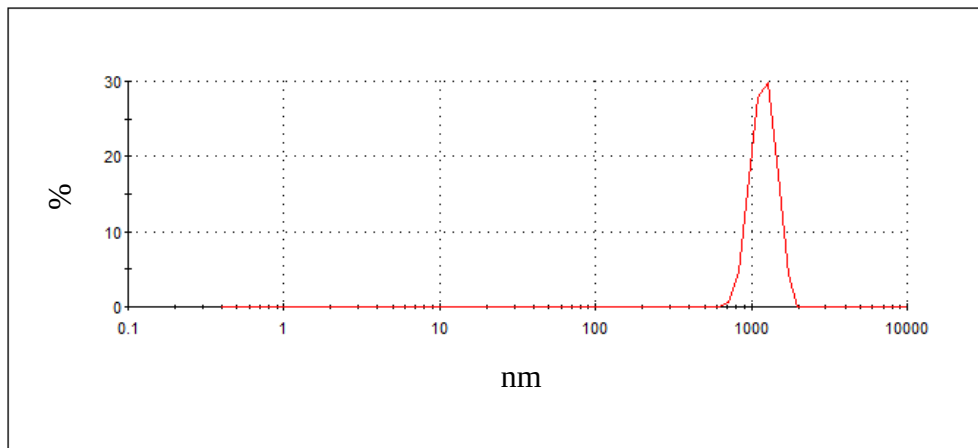
Şekil E.2 : J emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



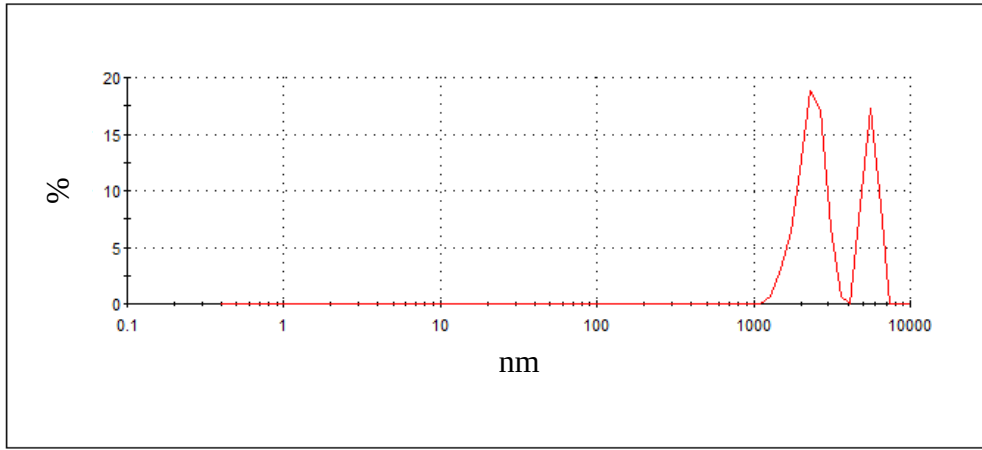
Şekil E.3 : K emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



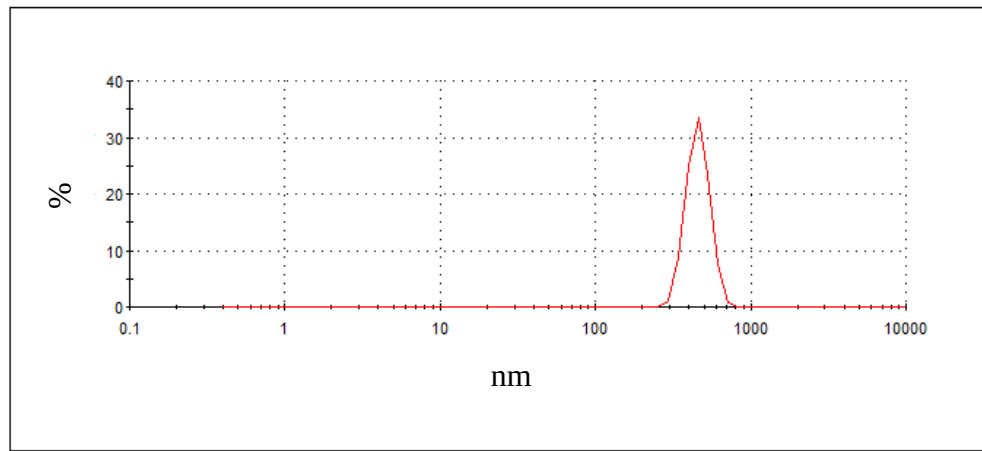
Şekil E.4 : K emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



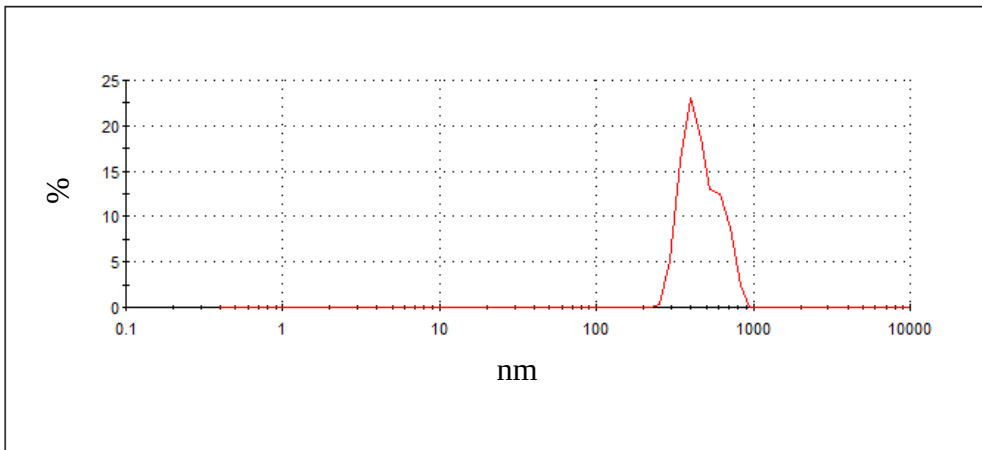
Şekil E.5 : L emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



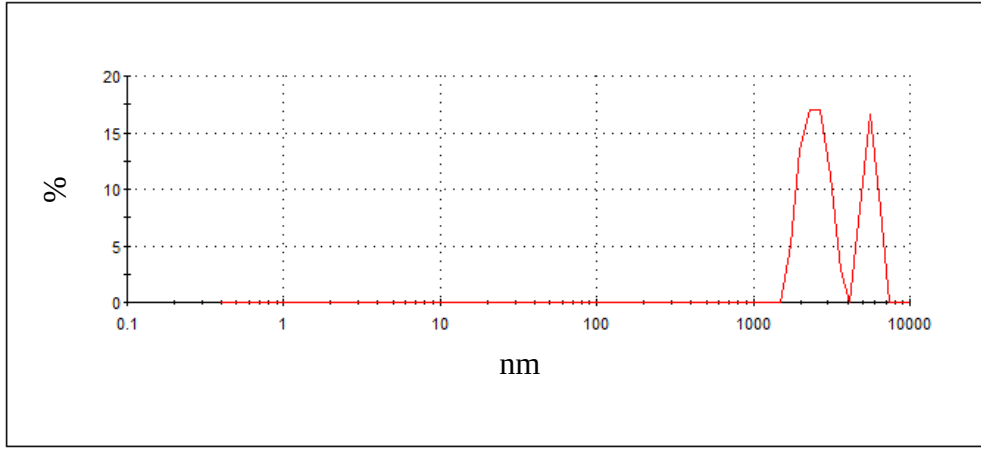
Şekil E.6 : L emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



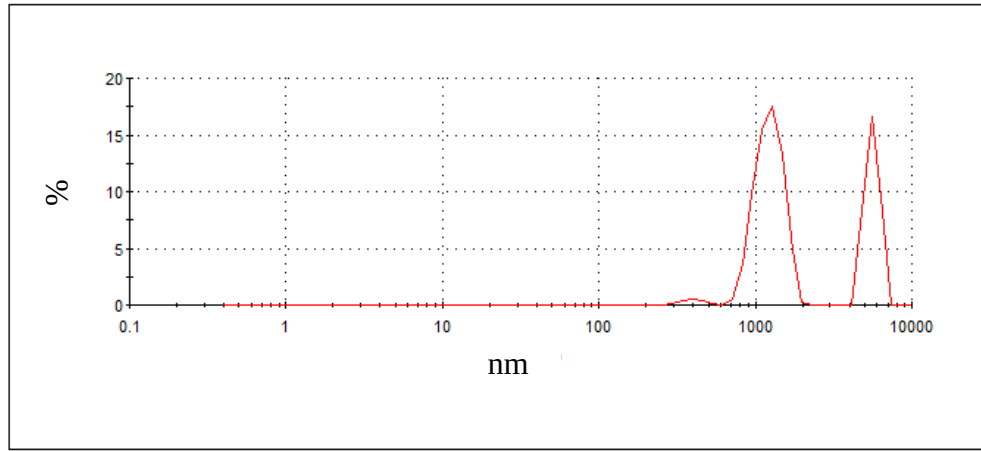
Şekil E.7 : M emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



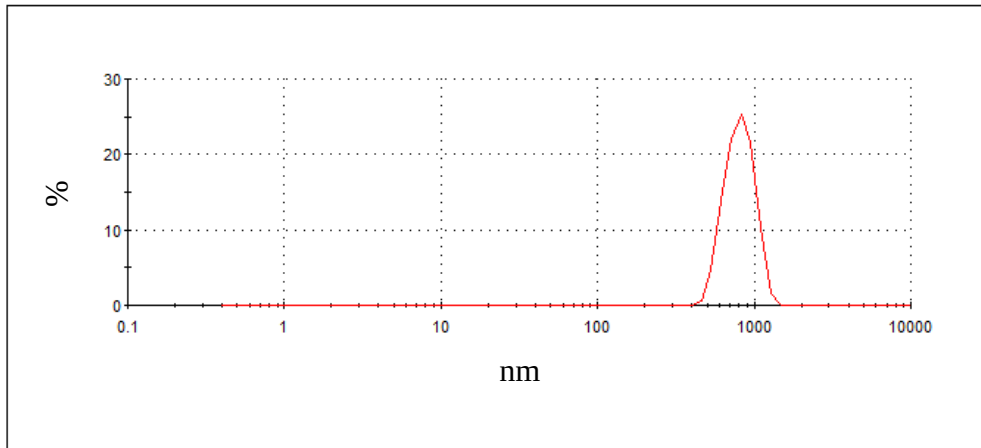
Şekil E.8 : M emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



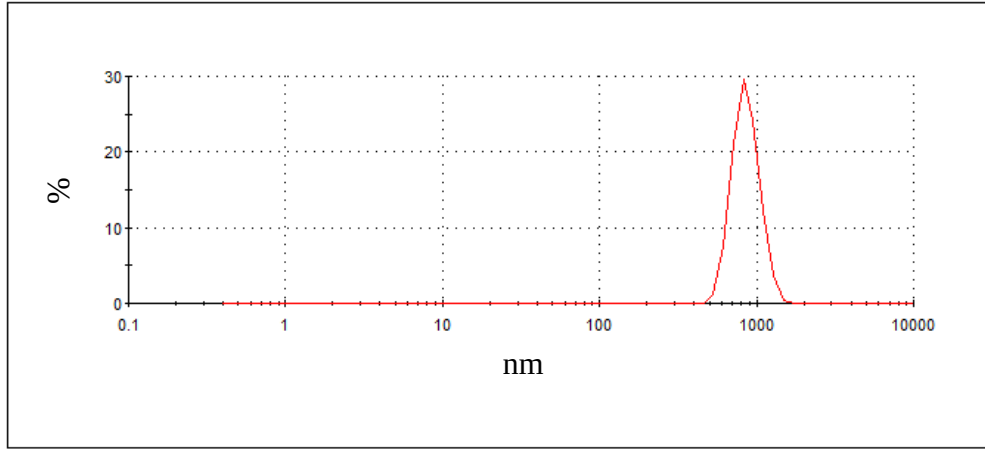
Şekil E.9 : N emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



Şekil E.10 : N emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.

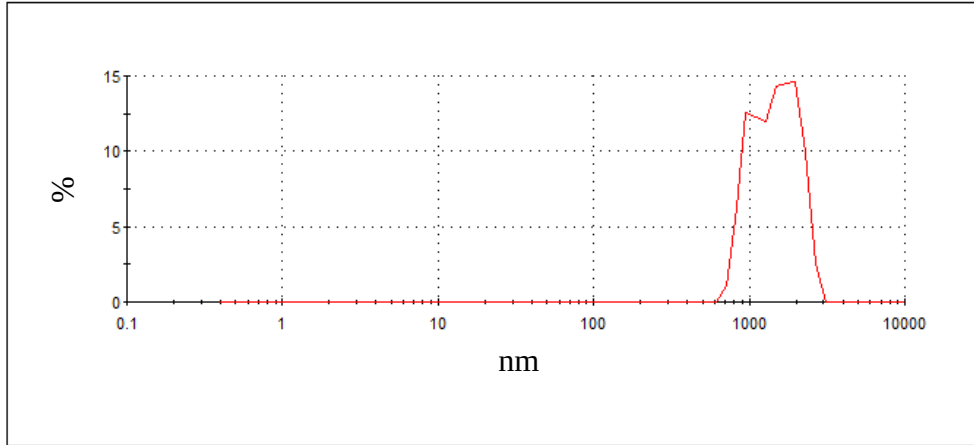


Şekil E.11 : O emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.

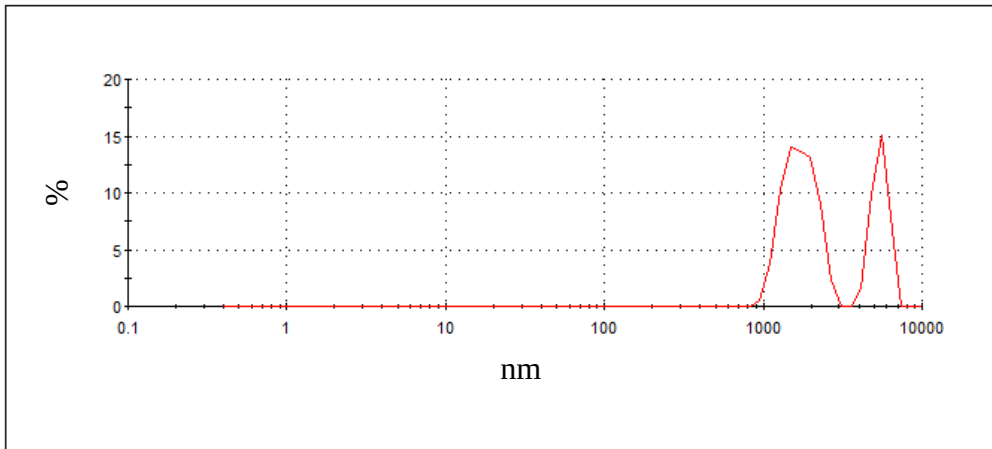


Şekil E.12 : O emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.

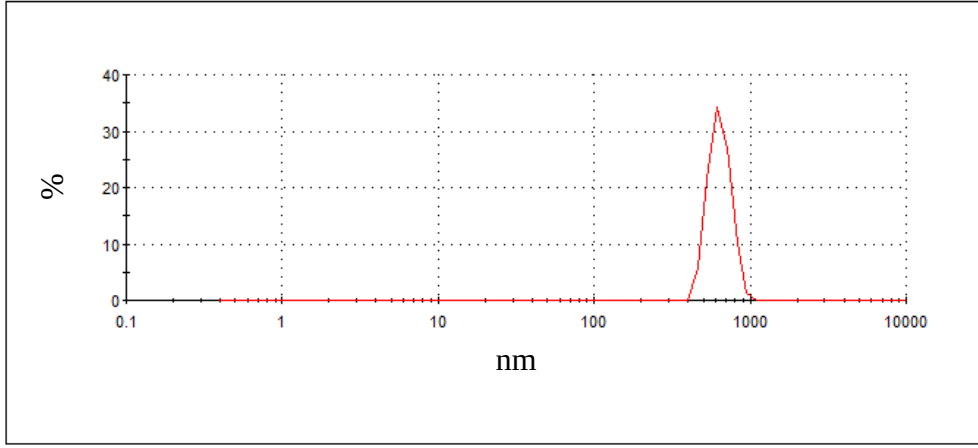
EK F : Y/S emülsiyonlarının 15. gün damlacık boyutu dağılımı ölçümleri.



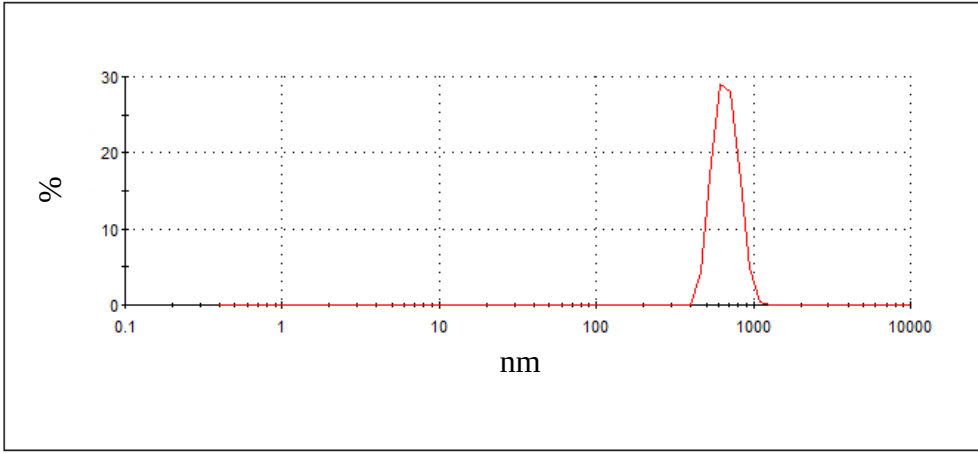
Şekil F.1 : J emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



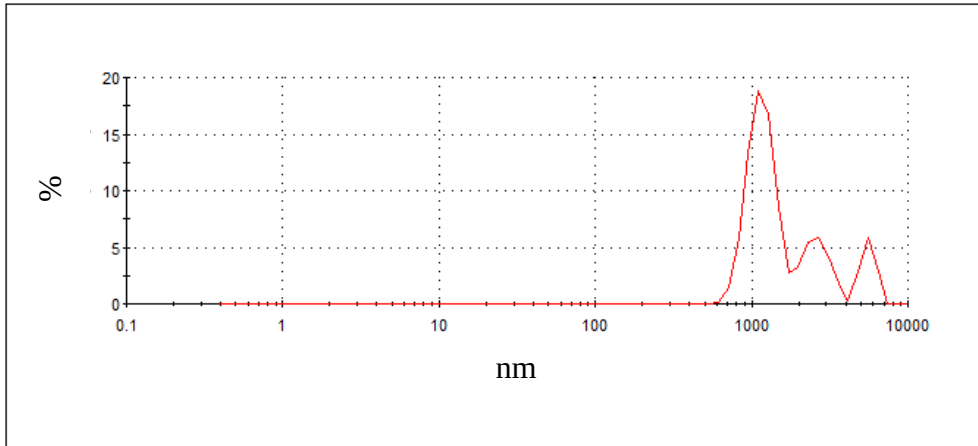
Şekil F.2 : J emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



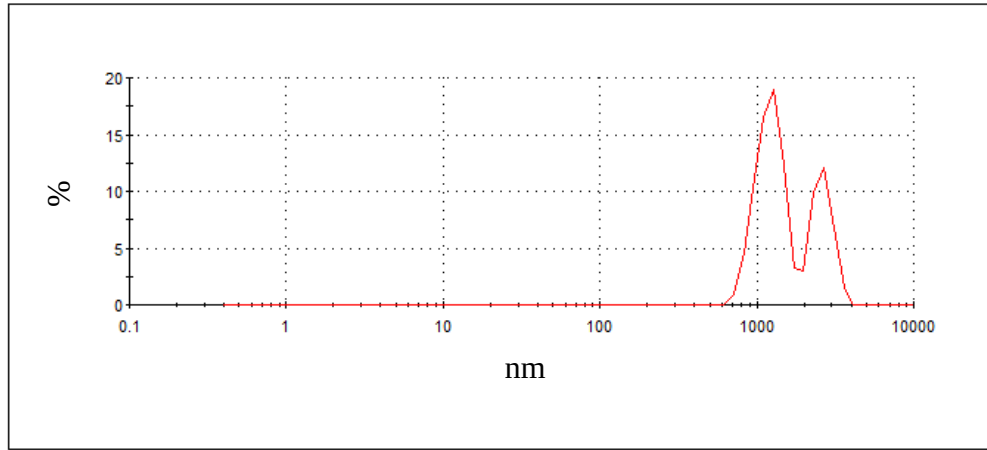
Şekil F.3 : K emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



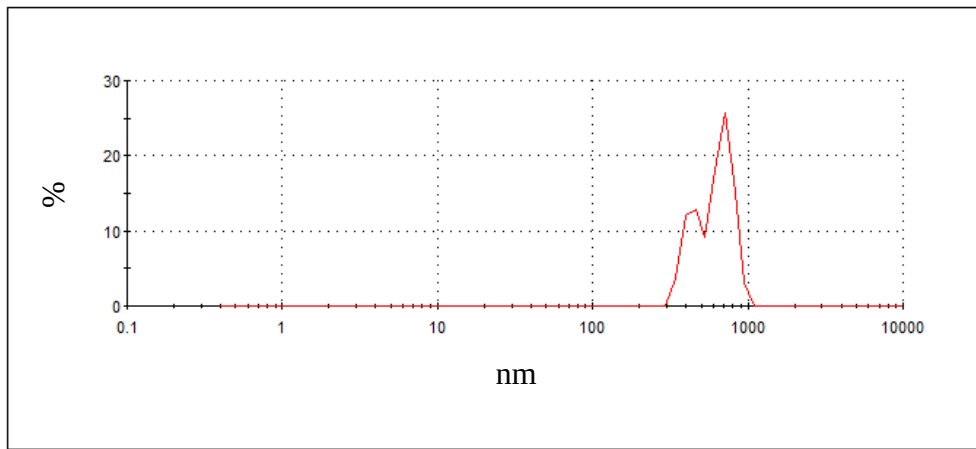
Şekil F.4 : K emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



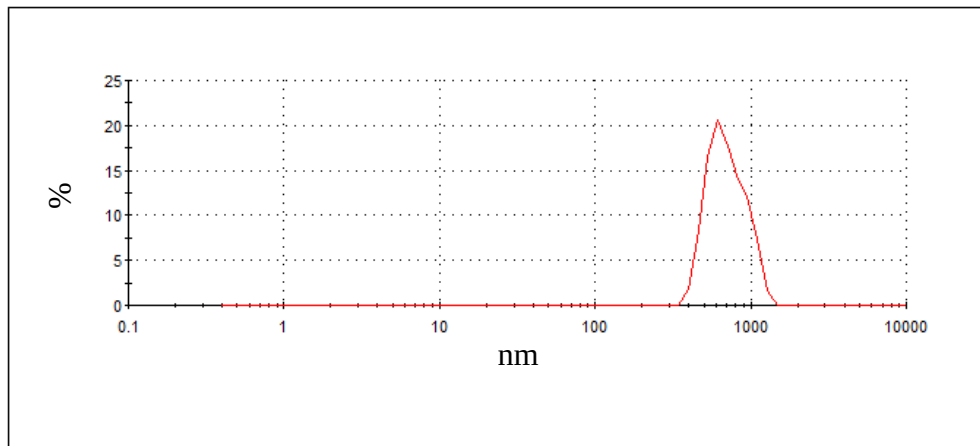
Şekil F.5 : L emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



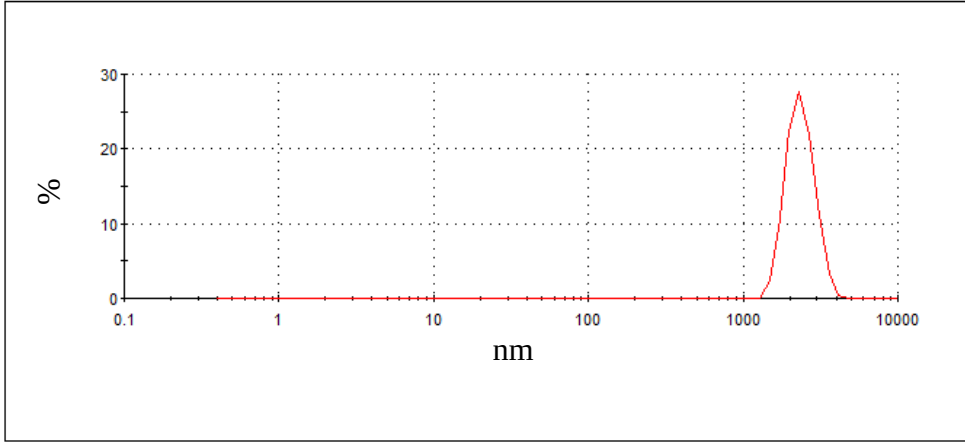
Şekil F.6 : L emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



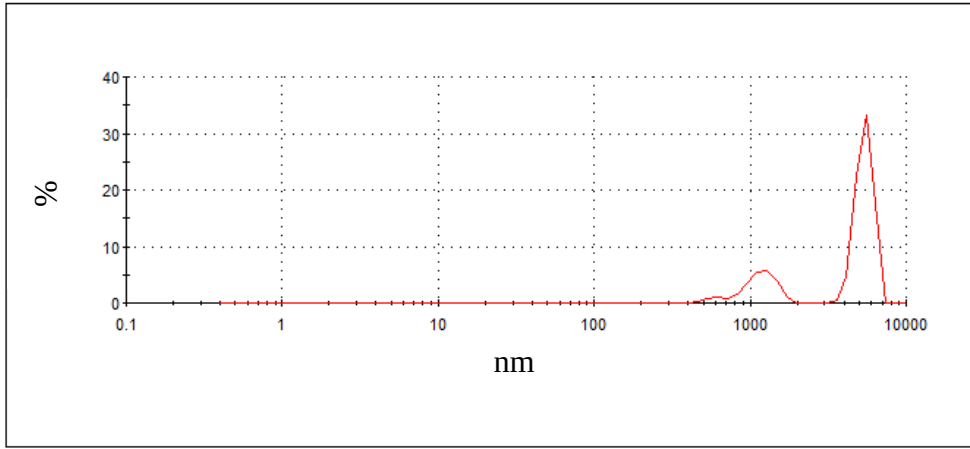
Şekil F.7 : M emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



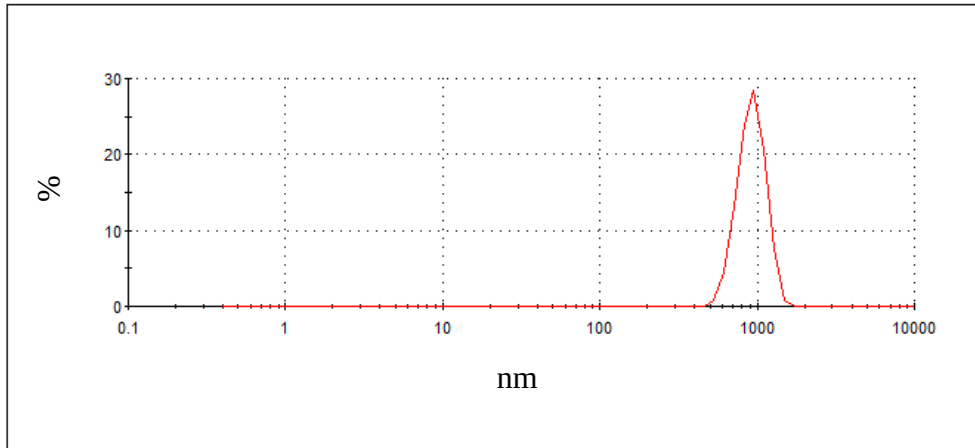
Şekil F.8 : M emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



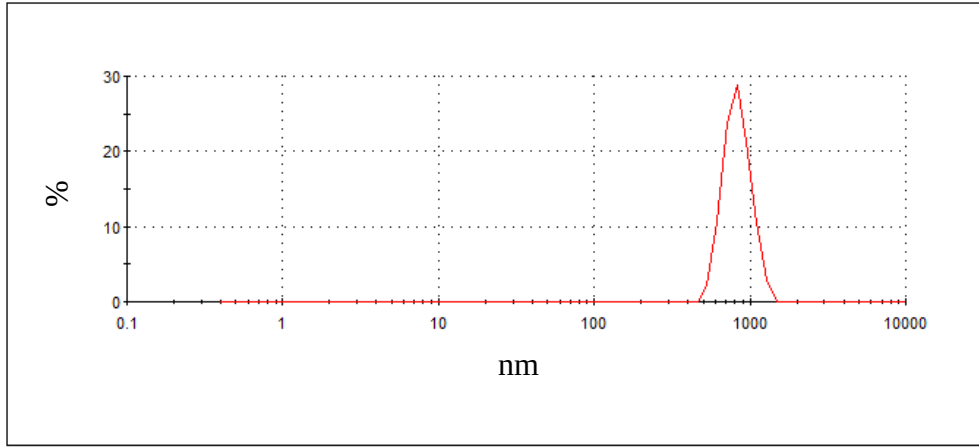
Şekil F.9 : N emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



Şekil F.10 : N emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.



Şekil F.11 : O emülsiyonu 1. paralel damlacık boyutu dağılımı.



Şekil F.12 : O emülsiyonu 2. paralel damlacık boyutu dağılımı.

EK G : Y/S emülsiyonlarının 1., 8. ve 15. gün absorbans ölçümleri.

Çizelge G.1 : Y/S emülsiyonlarının 1. gün absorbans ölçümleri.

ÖRNEK	ABSORBANS
J	0,819
	0,813
	0,800
	0,803
K	0,606
	0,613
	0,586
	0,584
L	0,823
	0,827
	0,824
	0,823
M	0,589
	0,586
	0,622
	0,623
N	0,833
	0,839
	0,857
	0,857
O	0,683
	0,685
	0,688
	0,686

Çizelge G.2 : Y/S emülsiyonlarının 8. gün absorbands ölçümleri.

ÖRNEK	ABSORBANS
J	0,863
	0,863
	0,851
	0,855
K	0,688
	0,693
	0,680
	0,681
L	0,870
	0,871
	0,867
	0,873
M	0,691
	0,692
	0,698
	0,692
N	0,876
	0,872
	0,870
	0,875
O	0,704
	0,704
	0,709
	0,705

Çizelge G.3 : Y/S emülsiyonlarının 15. gün absorbands ölçümleri.

ÖRNEK	ABSORBANS
J	0,845
	0,844
	0,837
	0,842
K	0,659
	0,661
	0,645
	0,649
L	0,847
	0,850
	0,844
	0,846
M	0,701
	0,705
	0,708
	0,709
N	0,882
	0,884
	0,888
	0,894
O	0,741
	0,745
	0,747
	0,748

EK H : Y/S emülsiyonlarının 1., 8. ve 15. günde hesaplanan türbidite (m^{-1}) değerleri.

Çizelge H.1 : Y/S emülsiyonlarının 1. gün türbidite (m^{-1}) hesaplamaları.

ÖRNEK	TÜRBİDİTE (m^{-1})
J	56584,71
	56170,17
	55272,00
	55479,27
K	41868,54
	42352,17
	40486,74
	40348,56
L	56861,07
	57137,43
	56930,16
	56861,07
M	40694,01
	40486,74
	42973,98
	43043,07
N	57551,97
	57966,51
	59210,13
	59210,13
O	47188,47
	47326,65
	47533,92
	47395,74

Çizelge H.2 : Y/S emülsiyonlarının 8. gün türbidite (m^{-1}) hesaplamaları.

ÖRNEK	TÜRBİDİTE (m^{-1})
J	59624,67
	59624,67
	58795,59
	59071,95
K	47533,92
	47879,37
	46981,20
	47050,29
L	60108,30
	60177,39
	59901,03
M	60315,57
	47741,19
	47810,28
	48224,82
N	47810,28
	60522,84
	60246,48
	60108,30
O	60453,75
	48639,36
	48639,36
	48984,81
	48708,45

Çizelge H.3 : Y/S emülsiyonlarının 15. gün türbidite (m^{-1}) hesaplamaları.

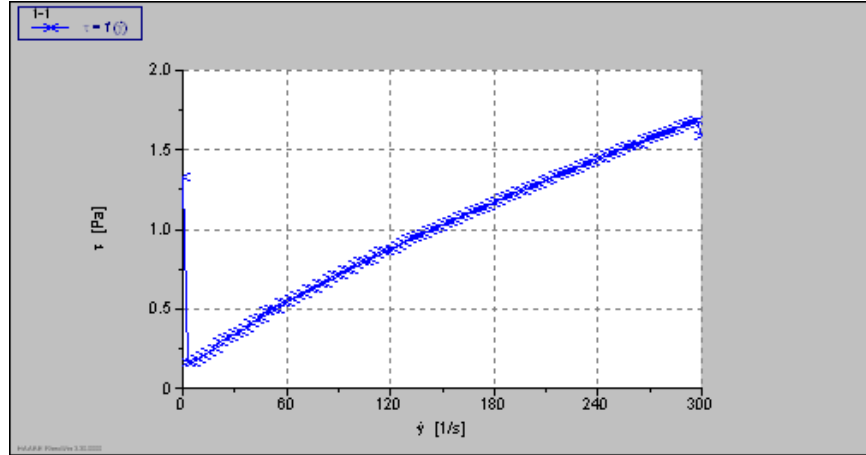
ÖRNEK	TÜRBİDİTE
J	58381,05
	58311,96
	57828,33
	58173,78
K	45530,31
	45668,49
	44563,05
	44839,41
L	58519,23
	58726,50
	58311,96
	58450,14
M	48432,09
	48708,45
	48915,72
	48948,81
N	60937,38
	61075,56
	61351,92
	61766,46
O	51195,69
	51472,05
	51610,23
	51679,32

EK I : Y/S emülsiyonlarının yüzey gerilimleri (mN/m).

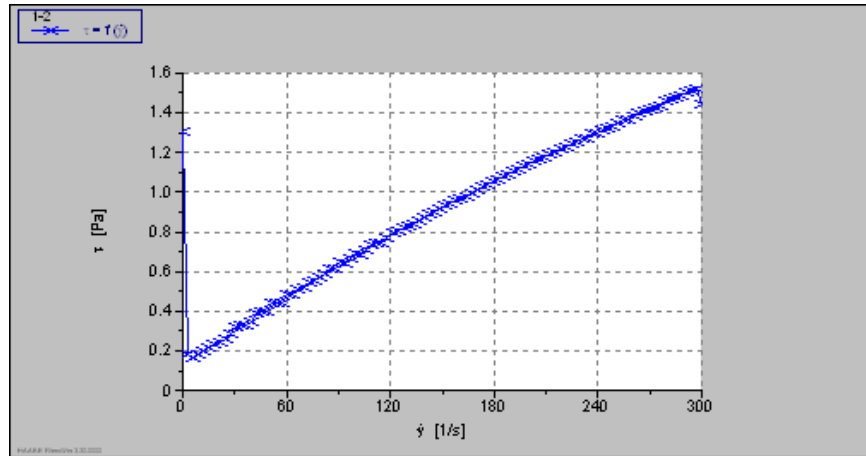
Çizelge I.1 : Y/S emülsiyonlarının yüzey gerilimleri.

ÖRNEK	YÜZEY GERİLİMİ (mN/m)
J	56,463
	56,939
	55,840
	55,350
K	63,962
	64,137
	63,926
	63,624
L	55,935
	56,571
	55,566
	55,765
M	59,166
	60,335
	60,393
	60,601
N	65,914
	64,540
	65,729
	63,764
O	59,479
	59,742
	58,471
	59,479

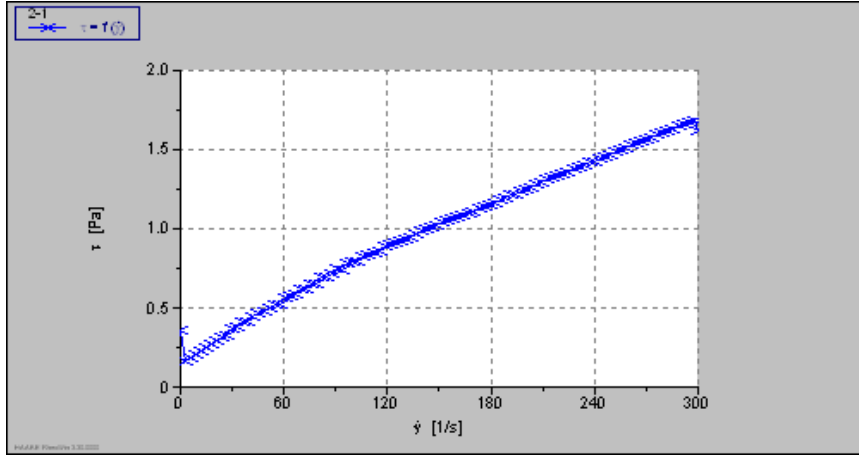
EK J : Y/S emülsiyonlarının reolojik ölçümleri.



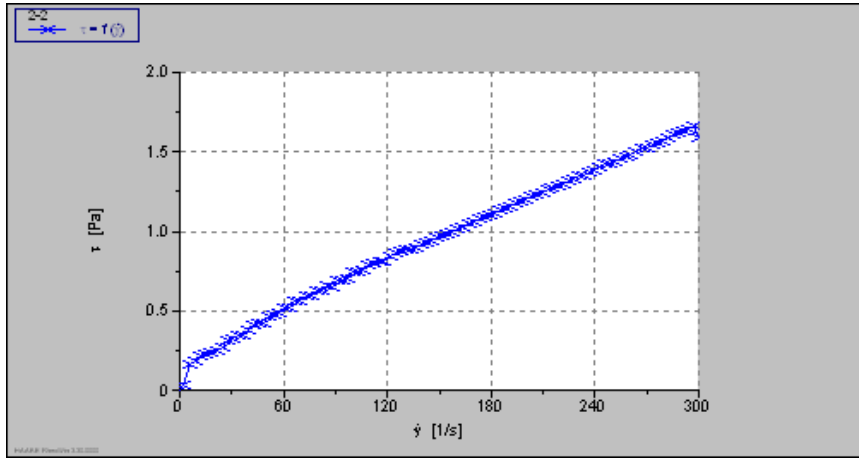
Şekil J.1 : J emülsiyonu, 1. paralel, 1. ölçüm.



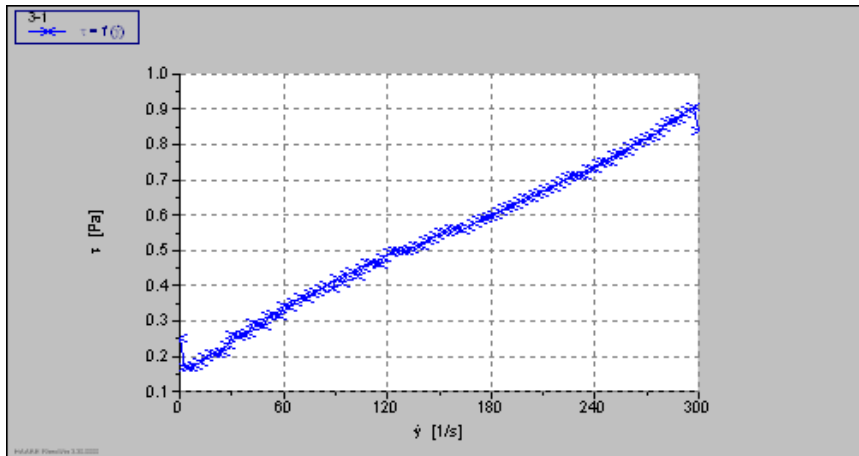
Şekil J.2 : J emülsiyonu, 1. paralel, 2. ölçüm.



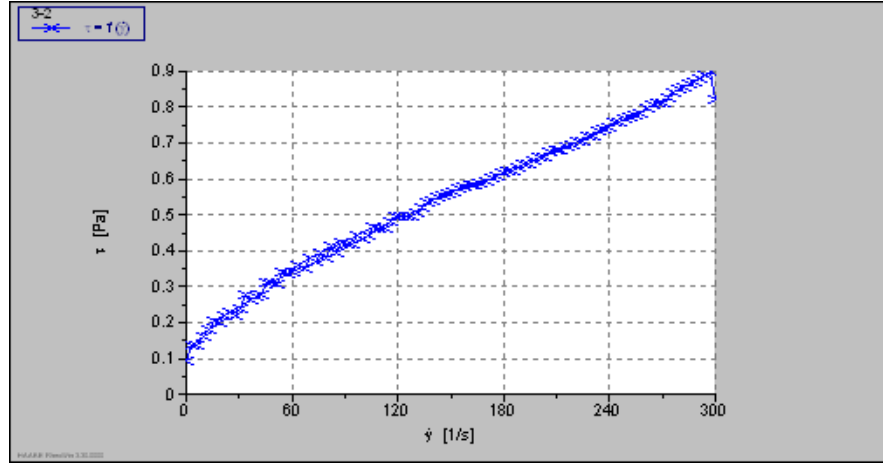
Şekil J.3 : J emülsiyonu, 2. paralel, 1. ölçüm.



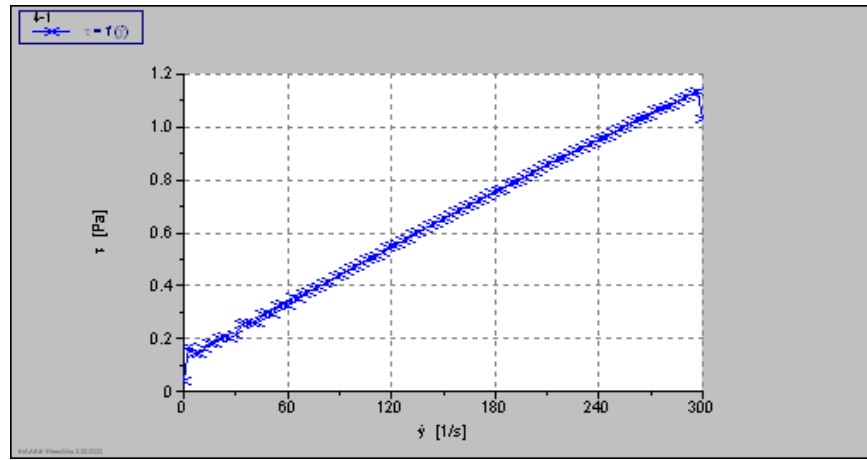
Şekil J.4 : J emülsiyonu, 2. paralel, 2. ölçüm.



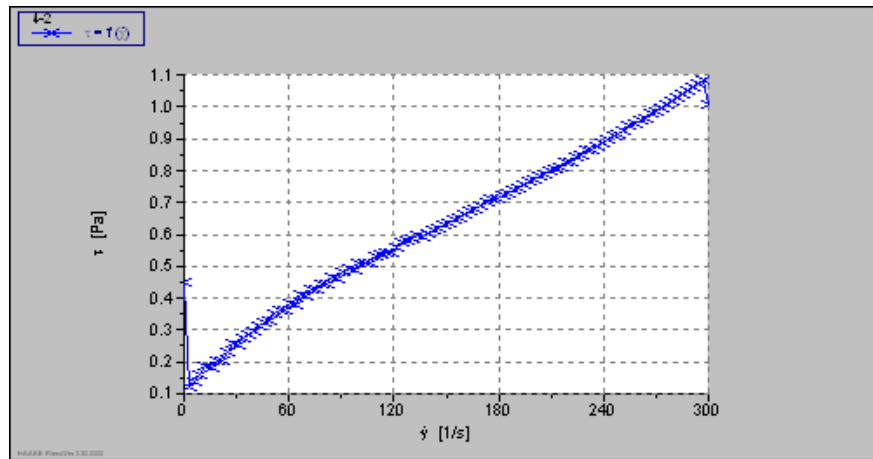
Şekil J.5 : K emülsiyonu, 1. paralel, 1. ölçüm.



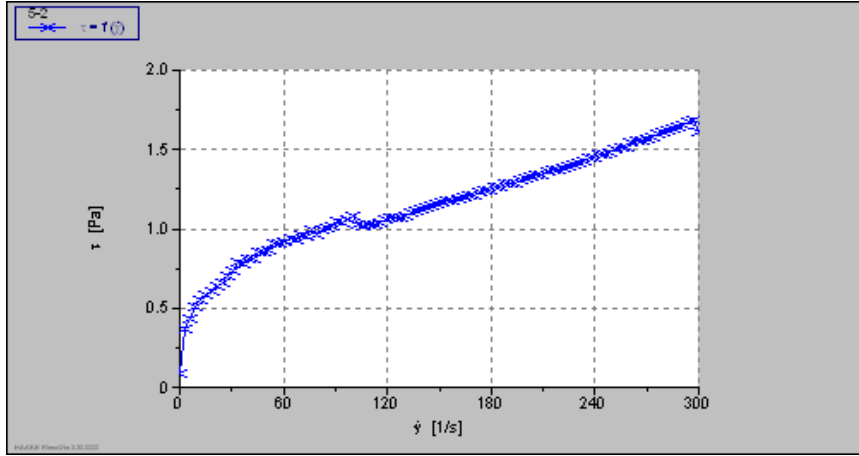
Şekil J.6 : K emülsiyonu, 1. paralel, 2. ölçüm.



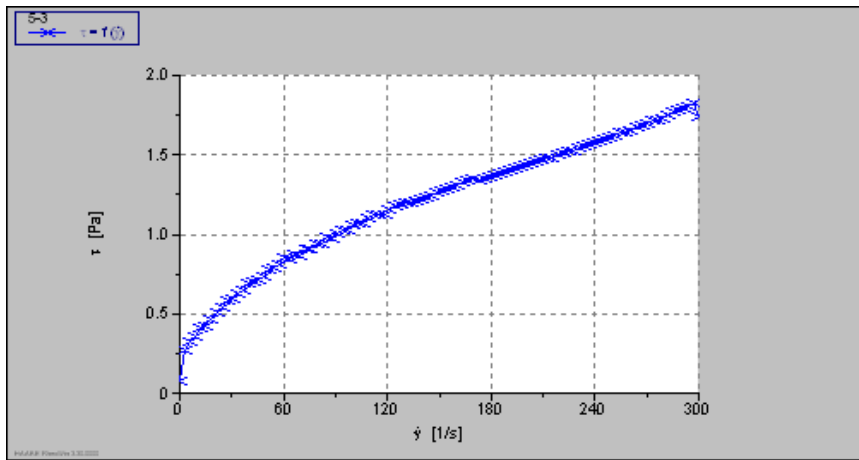
Şekil J.7 : K emülsiyonu, 2. paralel, 1. ölçüm.



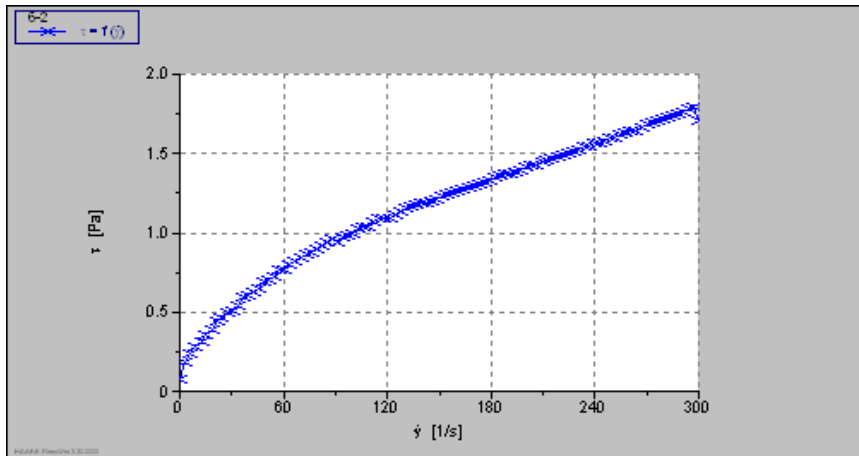
Şekil J.8 : K emülsiyonu, 2. paralel, 2. ölçüm.



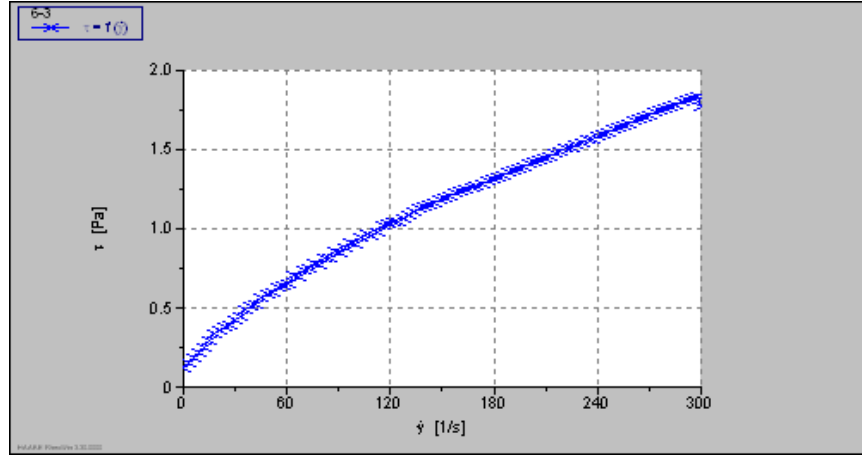
Şekil J.9 : L emülsiyonu, 1. paralel, 1. ölçüm.



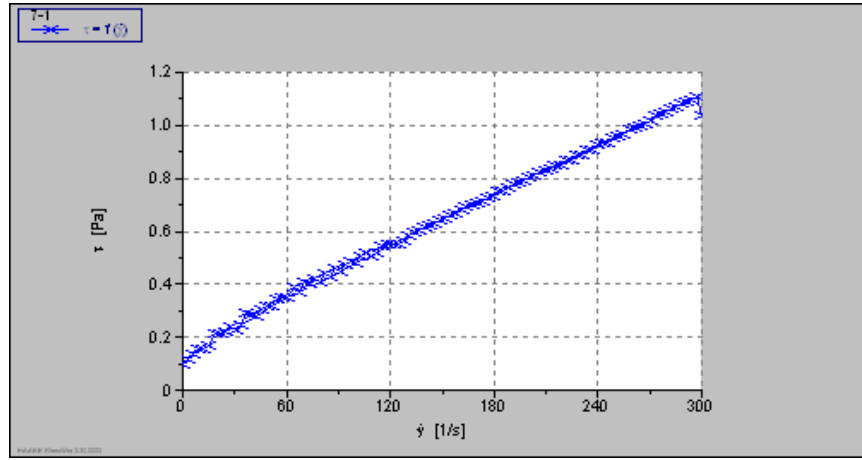
Şekil J.10 : L emülsiyonu, 1. paralel, 2. ölçüm.



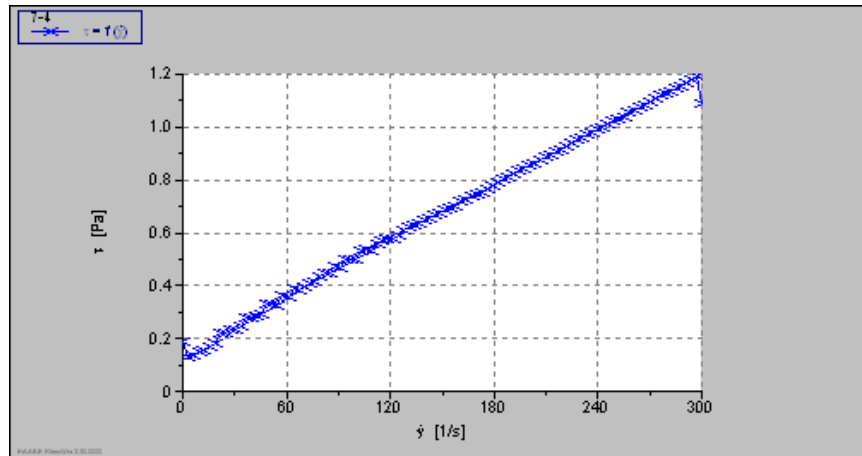
Şekil J.11 : L emülsiyonu, 2. paralel, 1. ölçüm.



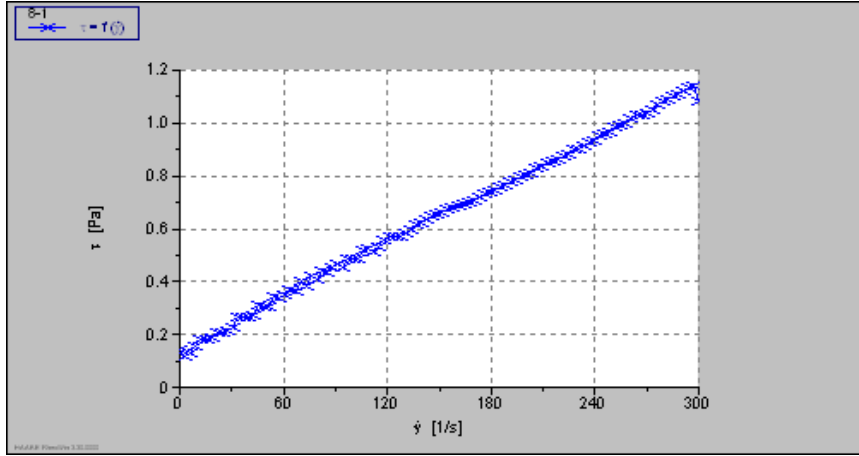
Şekil J.12 : L emülsiyonu, 2. paralel, 2. ölçüm.



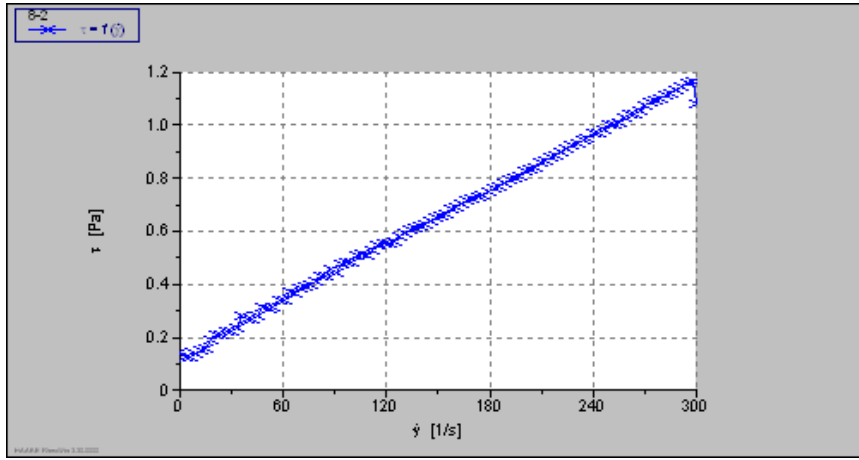
Şekil J.13 : M emülsiyonu, 1. paralel, 1. ölçüm.



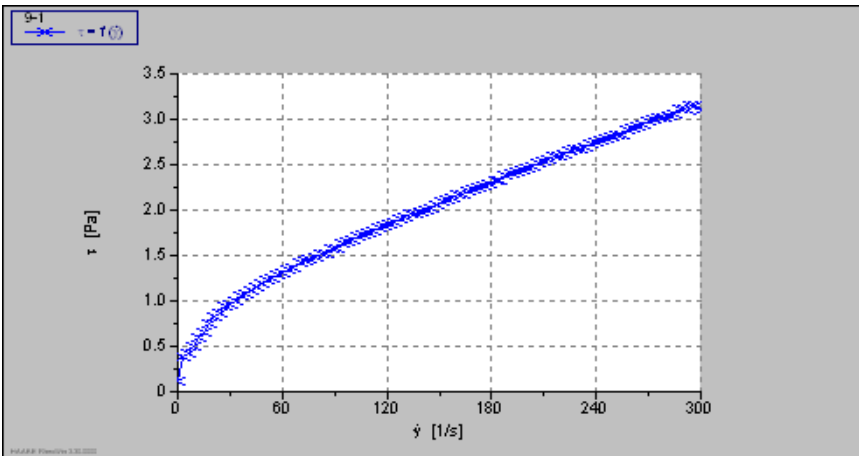
Şekil J.14 : M emülsiyonu, 1. paralel, 2. ölçüm.



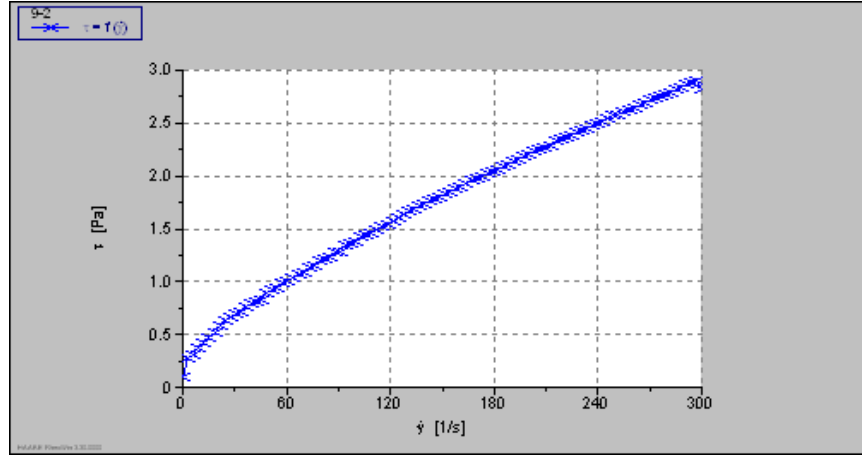
Şekil J.15 : M emülsiyonu, 2. paralel, 1. ölçüm.



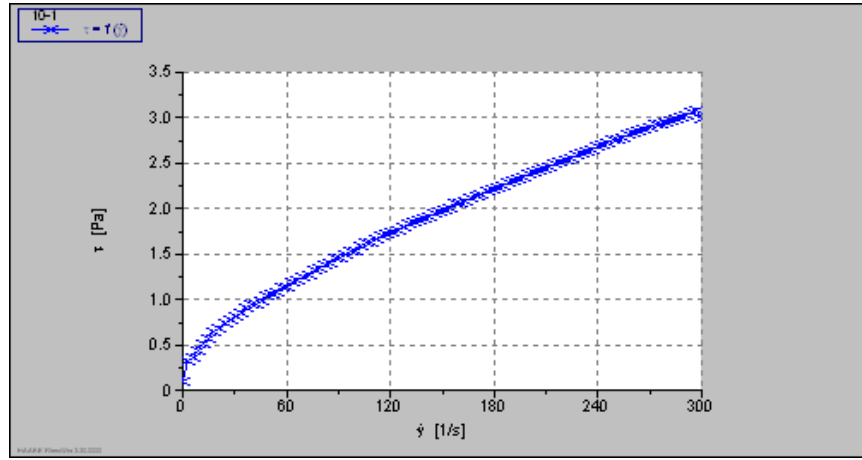
Şekil J.16 : M emülsiyonu, 2. paralel, 2. ölçüm.



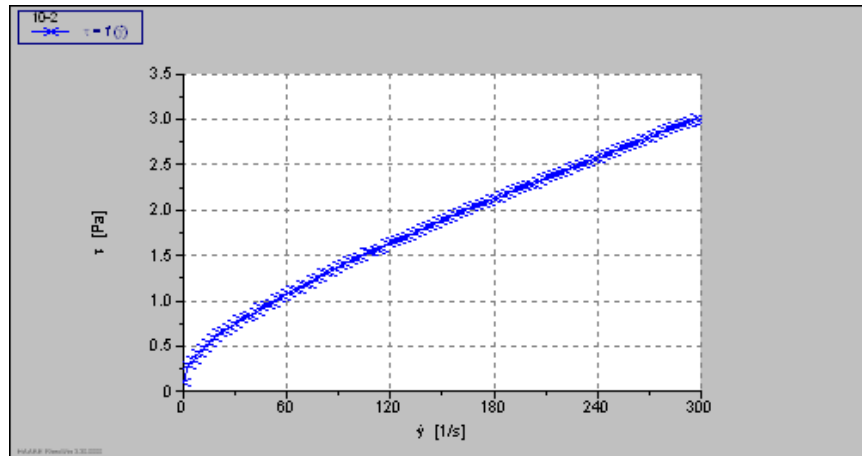
Şekil J.17 : N emülsiyonu, 1. paralel, 1. ölçüm.



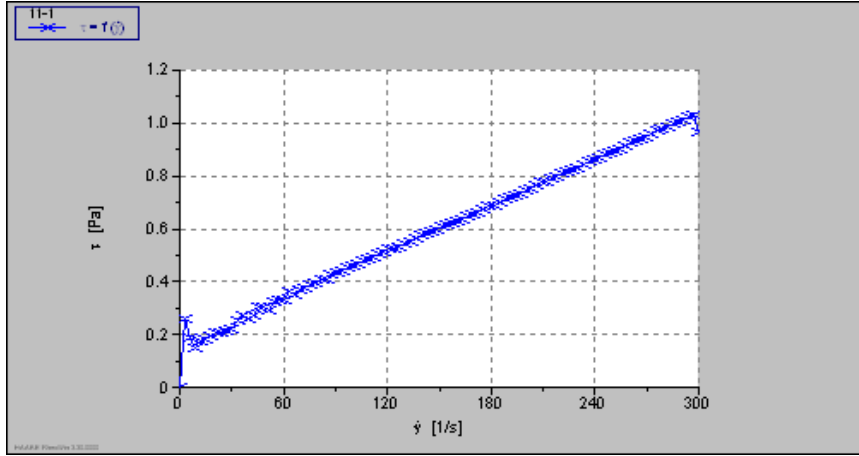
Şekil J.18 : N emülsiyonu, 1. paralel, 2. ölçüm.



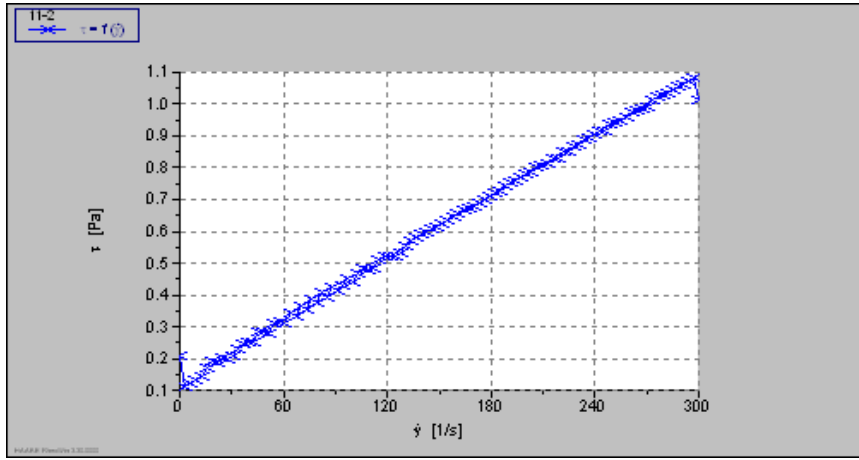
Şekil J.19 : N emülsiyonu, 2. paralel, 1. ölçüm.



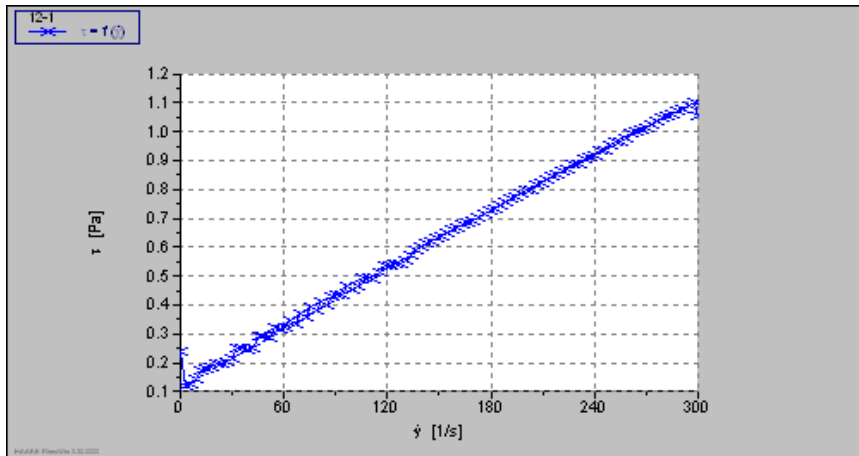
Şekil J.20 : N emülsiyonu, 2. paralel, 2. ölçüm.



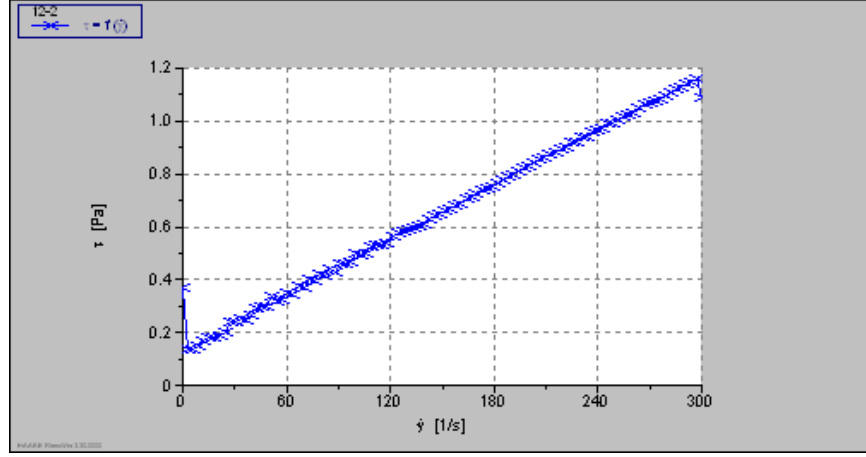
Şekil J.21 : O emülsiyonu, 1. paralel, 1. ölçüm.



Şekil J.22 : O emülsiyonu, 1. paralel, 2. ölçüm.



Şekil J.23 : O emülsiyonu, 2. paralel, 1. ölçüm.



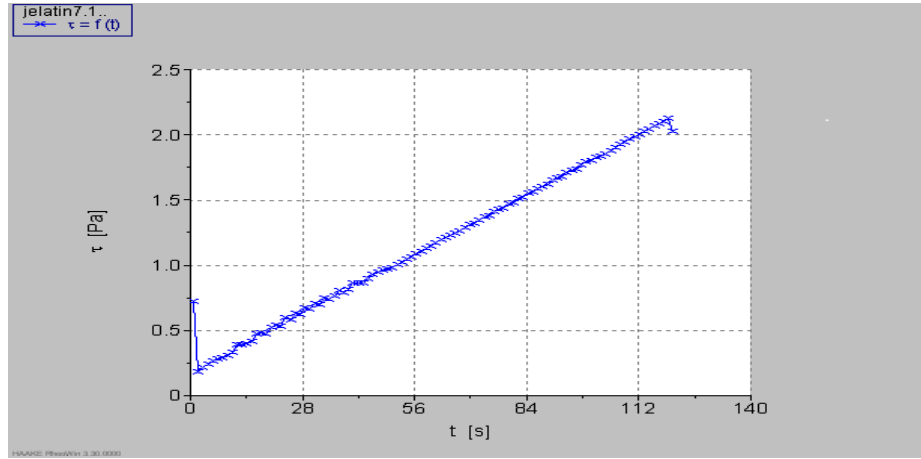
Şekil J.24 : O emülsiyonu, 2. paralel, 2. ölçüm.

EK K : Y/S emülsiyonlarının serum ayrışmaları ve kremleşme indeksleri.

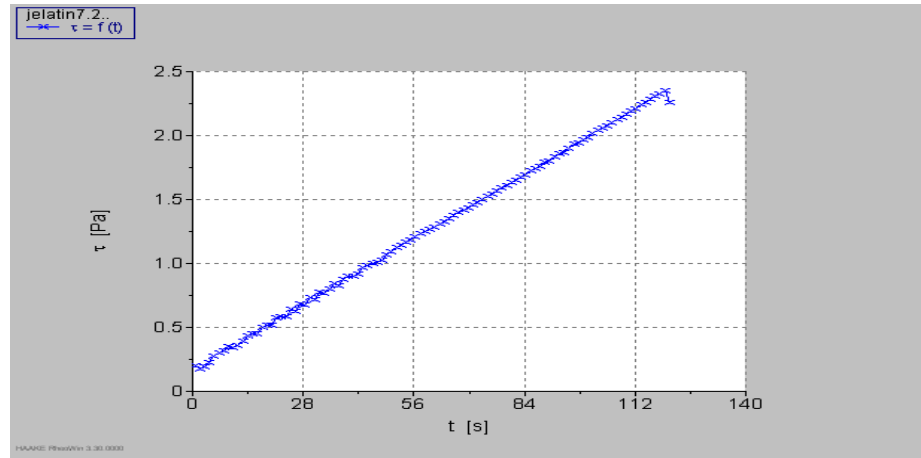
Çizelge K.1 : Y/S emülsiyonlarında serum ayrışmaları ve kremleşme indeksleri.

ÖRNEK	SERUM AYRIŞMASI (cm)	Kİ (%)
J	3,2	64
	3	60
K	1,1	22
	0,9	18
L	1	20
	0,9	18
M	0,7	14
	0,8	16
N	1	20
	1	20
O	0,7	14
	0,7	14

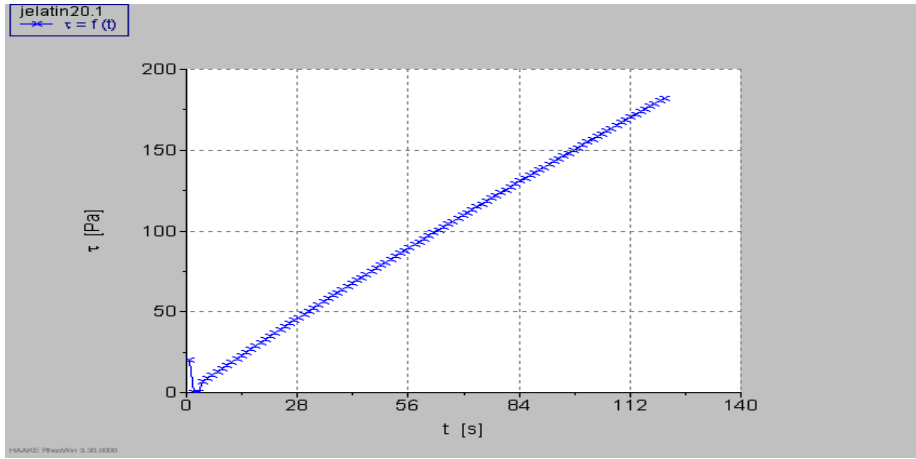
EK L : Elektrodöndürme cihazına beslenen jelatin çözeltilerinin reolojik ölçümleri.



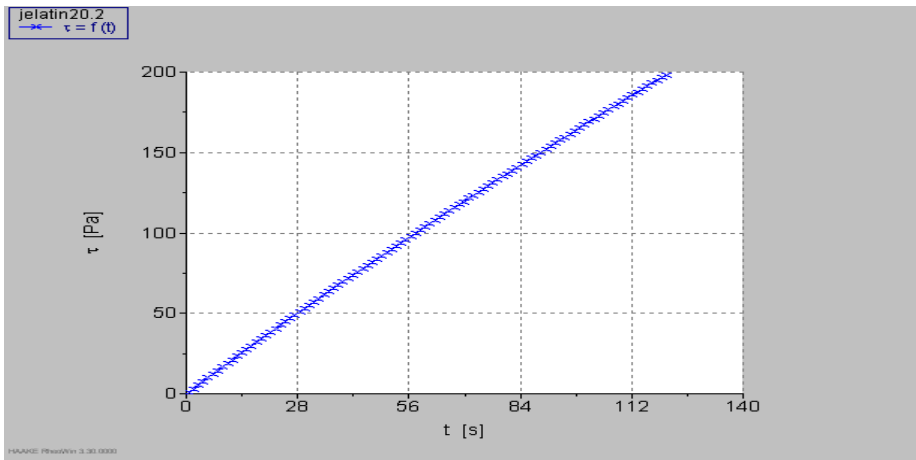
Şekil L.1 : %7 jelatin çözeltisi 1. ölçüm.



Şekil L.2 : %7 jelatin çözeltisi 2. ölçüm.

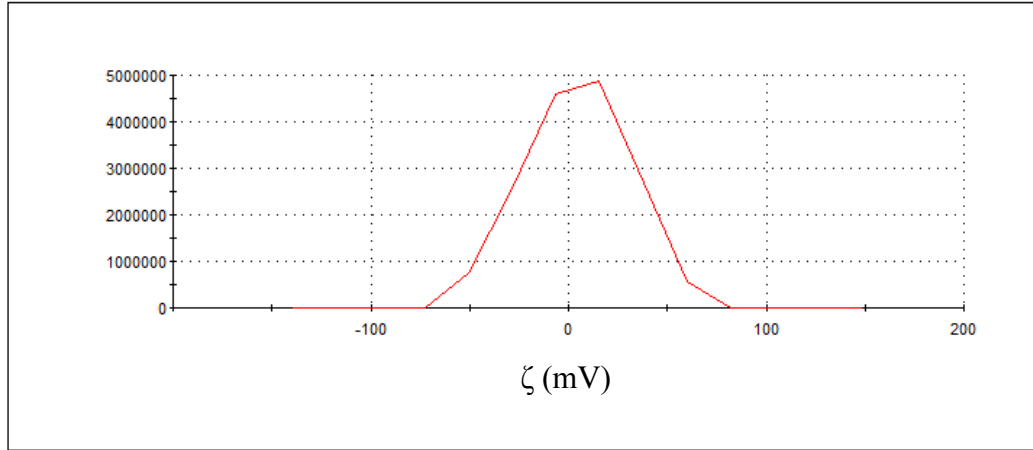


Şekil L.3 : %20 jelatin çözeltisi 1. ölçüm.

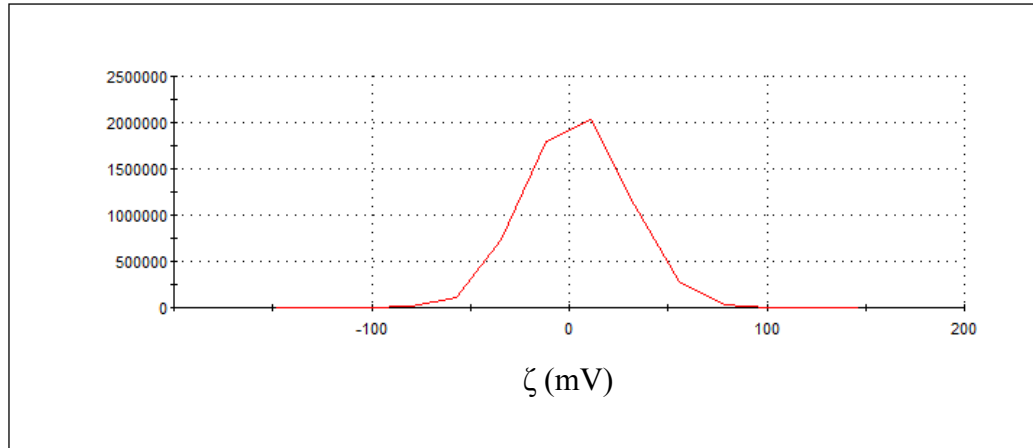


Şekil L.4 : %20 jelatin çözeltisi 2. ölçüm.

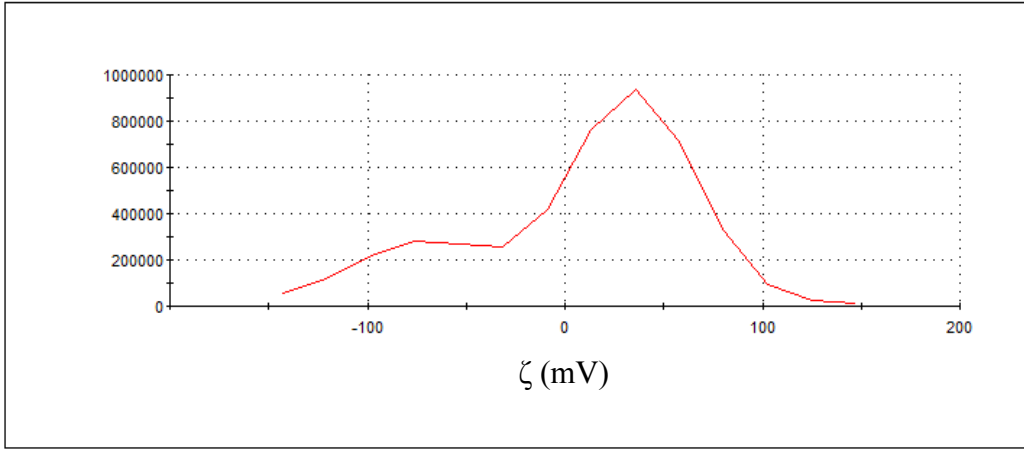
EK M : Jelatin nanoliflerinin zeta potansiyelleri.



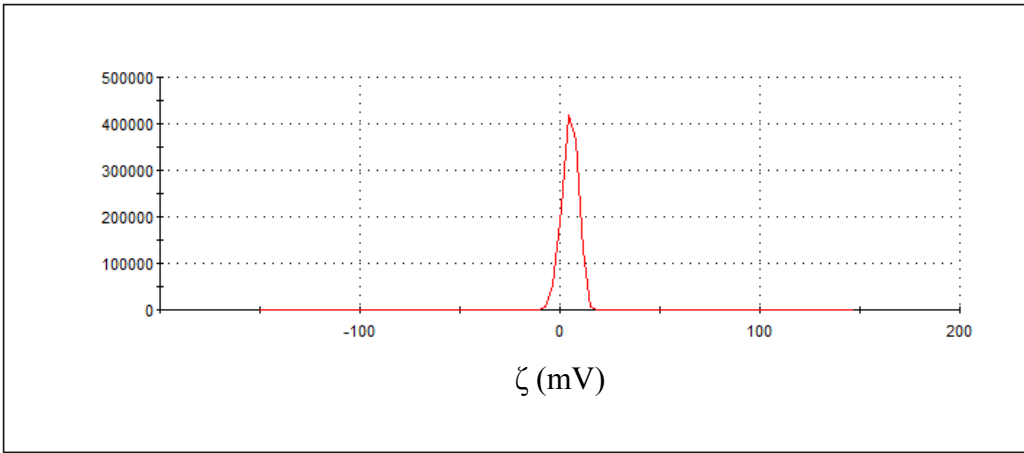
Şekil M.1 : Örnek A ortalama zeta potansiyeli.



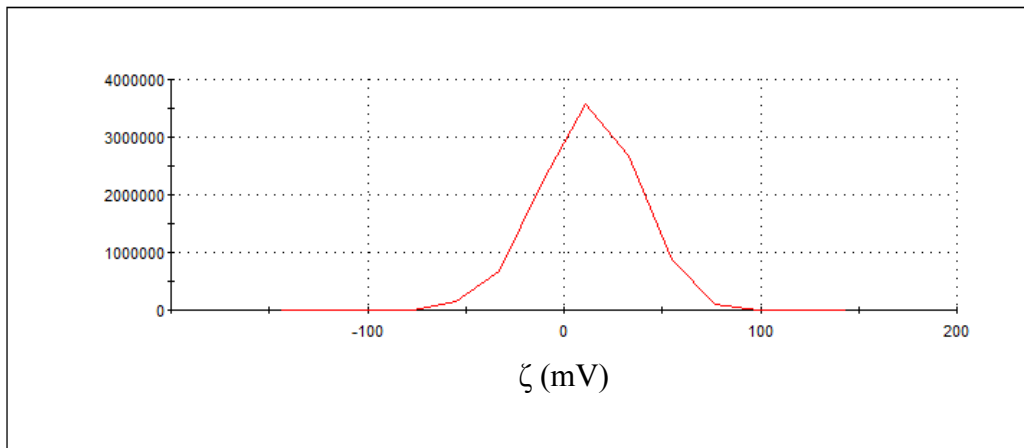
Şekil M.2 : Örnek B ortalama zeta potansiyeli.



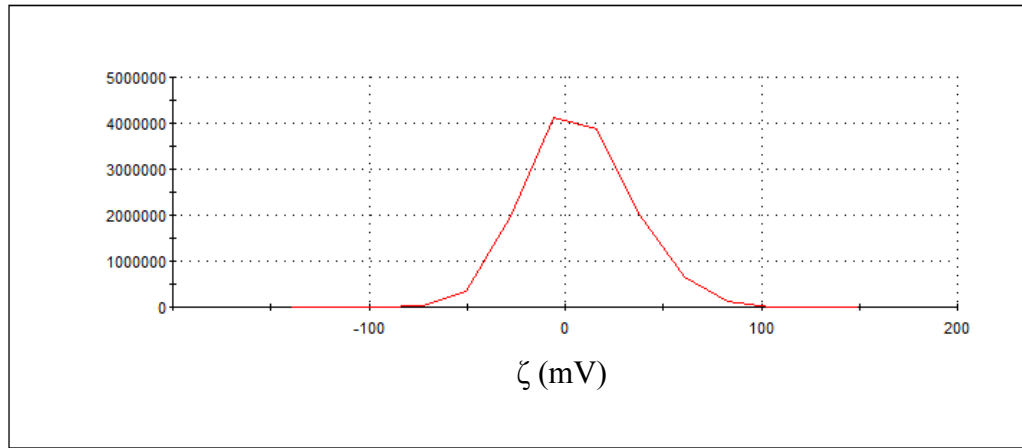
Şekil M.3 : Örnek C ortalama zeta potansiyeli.



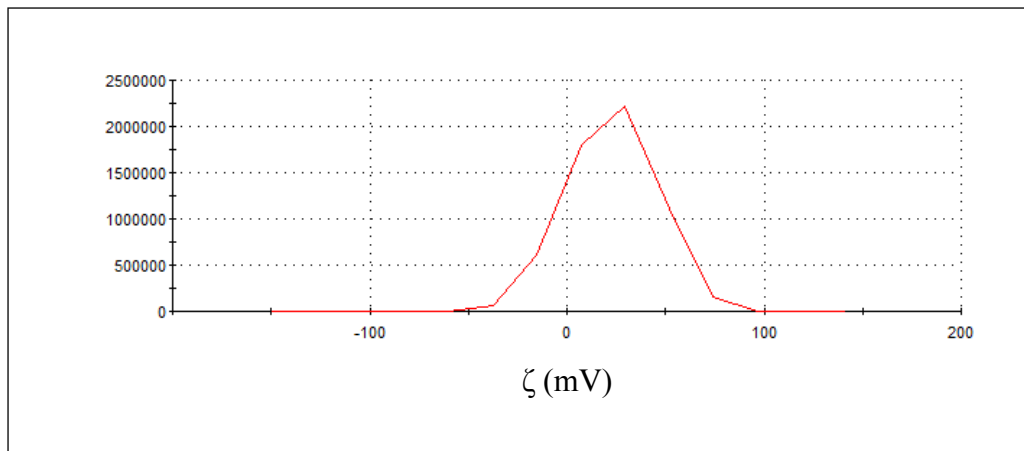
Şekil M.4 : Örnek D ortalama zeta potansiyeli.



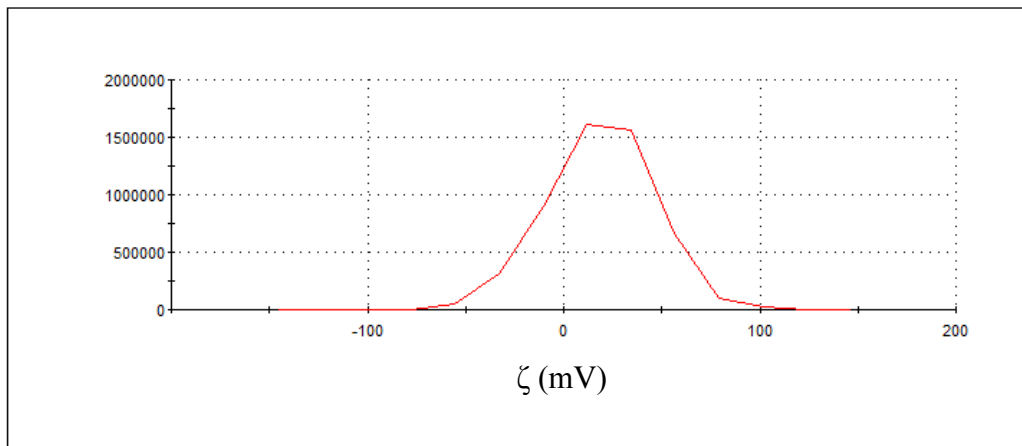
Şekil M.5 : Örnek E ortalama zeta potansiyeli.



Şekil M.6 : Örnek F ortalama zeta potansiyeli.



Şekil M.7 : Örnek G ortalama zeta potansiyeli.



Şekil M.8 : Örnek H ortalama zeta potansiyeli.

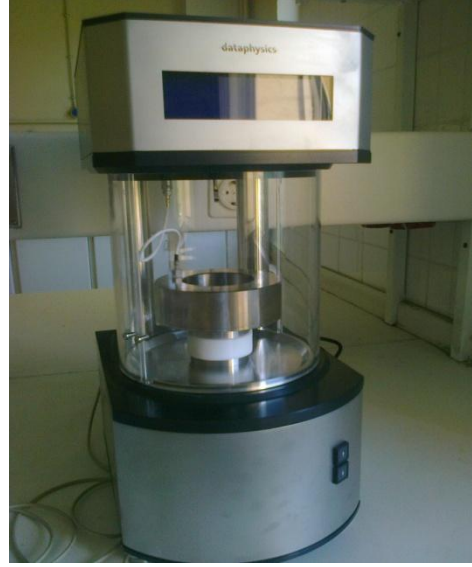
EK N : Kullanılan cihazlar.



Şekil N.1 : Zeta potansiyeli ve damlacık boyutu ölçüm cihazı (Malvern ZetaSizer NanoZS, İngiltere).



Şekil N.2 : Reometre (HAAKE RheoStress1, Almanya).



Şekil N.3 : Tensiyometre (Dataphysics, Almanya).



Şekil N.4 : Elektrodöndürme cihazı (Inovenso NE100, Türkiye).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nagihan OKUTAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar - 11.10.1987

Adres: İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Maslak –İstanbul.

E-Posta: nokutan@itu.edu.tr

Lisans: Trakya Üniversitesi

Gıda Mühendisliği

YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Okutan, N., Terzi, P., Altay, F.** (2012). Detection of *Alicyclobacillus* Spp. in Fruit Juices by Metal Oxide Sensors, FoodMicro 2012, İstanbul, 3-7 Eylül.
- **Terzi, P., Okutan, N., Altay, F.** (2012). Antimicrobial Properties of Electrospun Nanofibers Containing Organic Acids, FoodMicro 2012, İstanbul, 3-7 Eylül.
- **Okutan, N., Terzi, P., Altay, F.** (2012). Effects of Nanofibers Containing Starch on Rheological Properties of Olive Oil, International Symposium on Food Rheology and Structure, Zürich, İsviçre, 10-13 Nisan.
- **Terzi, P., Okutan, N., Altay, F.** (2011). Utilization of Packaging Films With Nanofibers Containing Organic Acids For Kashar Cheese, TUBITAK MAM 4th International Congress on Food and Nutrition, İstanbul, 12-14 Ekim.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Okutan, N., Terzi, P., Hendessi, S., Altay, F.** (2013). Gelatin Electrospun Nanofibers as An Emulsifier in O/W Emulsions, IFT Annual Meeting & Food Expo, Chicago, IL USA, 13-16 Temmuz.