

Jelatin ve Sodyum Aljinat Polimerleriyle Kenevir Yağının Mikroenkapsülasyonu ve Salınım Özelliklerinin İncelenmesi

Okan BAYRAM*¹, Fethiye GÖDE²

^{1,2} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Bölümü, 32000, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 20.12.2022, Kabul / Accepted: 14.11.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Kenevir yağı,
Enkapsülasyon,
Salınım,
Jelatin,
Sodyum Aljinat,
Deney Tasarımı.

Öz: Kenevir yağı dünyada farklı amaçlar için kullanılan bir yağdır. Farklı özelliklere sahip olan kenevir yağı bu çalışmada jelatin (JE) ve sodyum aljinat (ALJ) ile oluşturulan bir deney setinde kompleks koaservasyon yöntemiyle mikroenkapsüle edilmiştir. Karıştırma hızı, sıcaklık ve surfaktan derişimi giriş faktörleri olarak seçilmiş ve yüzde enkapsülasyon verimi (%EV) ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar maksimize olarak optimize edilmiş ve hekzan ortamında salınım özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda model uyumsuzluğunun p değeri 0,060 bulunmuştur. $p > 0,050$ olduğu için oluşturulan model ile veri uyuşmaktadır. Maksimize olarak optimize edilen sonuçlar 1460,310 rpm karıştırma hızı, 56,897 °C sıcaklık ve %0,827 a/h surfaktan derişiminde verim değeri %63,491 hesaplanmış ve yapılan deneyde %62,780 olarak bulunmuştur. Elde edilen mikrokapsüller FT-IR, optik mikroskop ve SEM cihazları ile karakterize edilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde mikrokapsüllerin düzgün, yuvarlak şeklinde olduğunu belirlenmiştir.

Microencapsulation of Hemp Oil with Gelatin and Sodium Alginate Polymers and Investigation of Release Properties

Keywords

Hemp oil,
Encapsulation,
Release,
Gelatin,
Sodium Alginate,
Experimental Design.

Abstract: Hemp oil is an oil used for different purposes around the world. In this study, hemp oil with different properties was microencapsulated by complex coacervation method in an experiment set formed with gelatin (GE) and sodium alginate (ALG). Stirring speed, temperature and surfactant concentration were chosen as input factors and the relationship between percent encapsulation efficiency (EE%) was investigated. The obtained results were optimized to maximize and the release properties in hexane medium were investigated. In the results obtained, the p value of the lack-of-fit was found to be 0.060. Since $p > 0.050$, the data matches the model created. Maximize optimized results were calculated as 63.491% at 1460.310 rpm stirring speed, 56.897 °C temperature and 0.827% w/v surfactant concentration, and it was found to be 62.780% in the experiment. Obtained microcapsules were characterized by FT-IR, optical microscope and SEM devices. When the optical microscope images were examined, it was determined that the microcapsules were smooth and round in shape.

1. Giriş

Uçucu yağların enkapsülasyonu duysal özellikleri geliştirmek ve mikroorganizmalar tarafından bozulmayı önlemek gibi etkiler göstermektedir. Serbest yağların enkapsüle edilerek uçuculuğunun azaltılması termal kararlılığını arttırmaktadır. Enkapsülasyon işlemi uçucu yağların hidrofobik özelliği nedeniyle gıdalarda dağılıbilirlik özelliğini iyileştirmektedir [1]. Enkapsülasyon, belirli bir malzeme veya malzeme karışımını kaplama yöntemi olarak adlandırılır kapsüllenen madde çekirdek

kapsülün toplam ağırlığının %30 ile %99'unu oluşturur. Çekirdek madde, tek bir madde veya katı sıvı ve gaz olabilir [2]. Duvar malzemesi genellikle çözünmez çekirdek ile reaksiyon vermez. Mikrokapsülün görevi çekirdek maddeye oksijen, su, basınç gibi etkilerden bariyer özelliği göstererek korumaktır [3]. Enkapsülasyon işlemi sıvı maddeyi katı bir fazla dönüştürerek, stabiliteyi arttırmak ve kapsüllenmiş maddenin tadını kokusunu maskeleyerek uygulamayı kolaylaştırır. Bunun yanı sıra uçucu yağların enkapsülasyonu partikül çaplarını en aza indirerek antimikrobiyal etkilerinin

gelişmesini katkı sağlamaktadır [4]. Dünya çapında bilim insanları tüketicilerin sağlığını korumak için faydalı besin kaynakları olarak kullanabilecekleri gıdaları karakterize etmeyi amaçlamaktadır yani ürünlerin geliştirilebilmesi ve gıdalardaki biyo-erişilebilirliği kontrol etmek için geleneksel yöntemleri yeni teknolojiler ile birleştirmek istemişlerdir. Bu amaçla tarihte kullanılan ilk tekniklerden biri olan mikroenkapsülasyon tekniği özellikle ilaçların kontrollü salınımlarını sağlamak için 1954'lerde başarıyla kullanılmıştır [5-6]. Kenevir (*Cannabis sativa L.*) bitkisi, en eski evcil bitkilerden biridir. Kenevir yıllarca kâğıt, tekstil ve kordon üretmek için ekilmiştir. Bir besin kaynağı olarak kullanıldığında, kenevir tohumu soğuk presleme ile işlenir, sonuçta mükemmel nutrasötik özelliklere sahip olduğu iddia edilen yağ elde edilir [7]. Kenevir (*Cannabis sativa L.*) tohumu yağı, temel olarak, besin özellikleri nedeniyle sağlık için yararları önemli bir yağdır. Yağ asidi bileşimi yağ içeriği %25-35 arasında değişirken, bütün kenevir tohumu ek olarak yaklaşık %20-25 protein, %20-30 karbonhidrat ve %10-15 lif içerir [8]. Esansiyel amino ve yağ asitlerinin kaynağı olmasıyla kenevir tohumu yağı tam bir besin kaynağıdır. Ek olarak, bileşenlerin yağda farmakolojik aktivite sergiledikleri gösterilmiştir [8, 9]. Kenevir tohumu yağı, sırasıyla ana omega-6 ve omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) olarak linoleik asit (LA) ve linolenik asit (LNA) içerir. Yanıt yüzeyi metodolojisi (YYM), kurulan prosesin optimize edilmesinde ve iyileştirilmesinde kullanılan bir grup istatistiksel ve matematiksel yöntemler bütünüdür. Bu yöntemle seçilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle arasındaki ilişki istatistiksel olarak açıklanabilmektedir [10]. Bu çalışmada kenevir yağı belirlenen deney şartlarında jelatin ve sodyum aljinat polimerleriyle mikroenkapsüle edilerek elde edilen sonuç optimize edilmiştir ve hekzan ortamındaki salınım özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. FT-IR Analizi

Deneylerde kullanılan kenevir yağı, mikrokapsül duvarında kullanılan polimerler ve üretilen mikrokapsüllere FT-IR analizi yapılmıştır. FT-IR analizinde JASCO FT/IR-4700typeA model cihaz ve ATR PRO ONE aksesuarı ile kullanılmıştır. Cihaz, 4000-400 cm⁻¹ kızılötesi aralığındaki numuneleri analiz kullanılmıştır.

2.2. Optik Mikroskop ve SEM Analizi

Elde edilen mikrokapsüller boyut, şekil, renk gibi özellikleriyle değerlendirilmesi için Buco BM-2000 marka optik mikroskop ve QuantaTM 250 FEG marka SEM cihazıyla incelenmiştir [11, 12].

2.3. Kompleks Koaservasyon Metoduyla Deney Yapılışı

Kenevir yağının mikroenkapsülasyonunda kompleks koaservasyon yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta 4 g

kenevir yağı ve ilgili parametrelerdeki değerler deneysel süreçte kullanılmıştır. Kenevir yağı yerel bir satıcıdan tedarik edilmiştir. Karıştırma hızı tüm deneylerde ilk aşamada deney tasarımındaki parametrelerden 1000 rpm-1500 rpm, ikinci aşamada 400,00 rpm'dir. Sıcaklık (50,00 °C - 60,00 °C) deney setine göre ısıtıcı manyetik karıştırıcıda (Weightlab WNH550) her bir deney için ayarlanmıştır. JE-ALJ duvar materyali olarak kullanılan deneyler (%1,250 a/h) 4:1 oranında kullanılmıştır. İlk aşamada istenen sıcaklığa (50,00°C - 60,00°C) getirilen deney ortamında kenevir yağları hazırlanan jelatin çözeltisi ile 20 dakika süreyle karıştırılmıştır. Karışıma surfaktan madde olarak deney setlerinde belirlenen sodyum dodesil sülfat (SDS) 0,250 mL eklenerek 20 dakika daha karıştırılmıştır. Sodyum aljinat (%1,250 a/h) eklenerek karıştırılmaya 20 dakika daha devam edilmiştir. Daha sonra (%10,00 h/h) asetik asit çözeltisiyle karışımın pH değeri ayarlanmıştır ve 90 dakika daha 400 rpm'de karıştırılmıştır. Sürenin sonunda ısıtıcı kapatılarak 300 mL soğuk deiyonize su ve (%10,00 h/h) 2 mL glutaraldehit karışıma eklenmiştir. Sıcaklık düşmesi dijital termometre ve ısıtıcının probu ile kontrol edilmiştir. Bu aşamada 400 rpm'de karıştırılmaya devam edilmiştir. Toplam karışım süresi 4 saat 30 dakikaya tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen karışım bir gün bekletilerek yıkama, süzme, işlemleri yapılmıştır [11, 12].

2.4. Salınım Özellikleri İncelemesi

Jelatin ve sodyum aljinat ile mikroenkapsüle edilen kenevir yağının salınımı literatürdeki benzer çalışmalar yardımıyla oluşturulan metot ile ölçülmüştür. Öncelikle mikrokapsülün çekirdeği olan yağ, hekzan ile farklı derişimlerde karıştırılarak bir kalibrasyon seti hazırlanmıştır. Hekzan ortamına koyulan mikrokapsül numunelerinin farklı zamanlarda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler yardımı ile mikrokapsülün salınım grafiği çizilerek değerlendirilmiştir [13, 14].

2.5. Verim Hesabı

Enkapsülasyon verimi hesaplanırken literatürdeki benzer çalışmalar yardımıyla oluşturulan Denklem 1 kullanılmıştır [11, 12, 15-19].

$$\%EV = \frac{\text{Toplam Yağ Miktarı} - \text{Yüzey Yağı Miktarı}}{\text{Toplam Yağ Miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

3. Bulgular

3.1. Deney Tasarımı Sonuçları

Jelatin ve sodyum aljinat duvar materyalinde kenevir yağı içeren mikrokapsüller için oluşturulan deney tasarımı ve elde edilen deneysel verim ve hesaplanan verim değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kenevir Yağı-JE/ALJ deney tasarımı sonuçları

Karıştırma Hızı (rpm)	Sıcaklık (°C)	Surfaktan Derişimi (%a/h)	DeneySEL Verim (%EV)	Hesaplanan Verim (%EV)
1000,000	50,000	0,300	45,380	43,297
1250,000	55,000	0,500	57,580	57,808
1250,000	55,000	0,500	57,420	57,808
1500,000	60,000	0,300	60,780	57,932
1500,000	50,000	0,700	63,850	59,112
1000,000	60,000	0,700	41,580	41,577
1250,000	55,000	0,500	57,850	57,808
1250,000	46,835	0,500	45,670	51,456
1250,000	55,000	0,500	56,250	57,808
1250,000	55,000	0,827	55,850	59,124
1658,250	55,000	0,500	47,580	55,038
1250,000	55,000	0,173	57,580	61,034
1250,000	63,165	0,500	53,250	54,199
841,750	55,000	0,500	27,540	26,910
1000,000	60,000	0,300	41,580	44,737
1000,000	50,000	0,700	36,580	37,857
1250,000	55,000	0,500	55,470	57,808
1500,000	60,000	0,700	60,520	61,032
1500,000	50,000	0,300	59,850	58,292
1250,000	55,000	0,500	58,750	57,808
		R ²	%94,560	
		Model	0,060	
		Uyumsuzluğu		

Elde edilen sonuçlar üzerinden hesaplanan ANOVA sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kenevir Yağı-JE/ALJ için ANOVA sonuçları

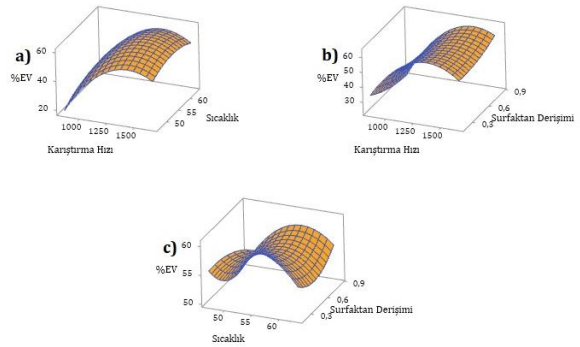
Kaynak	sd	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	11	1632,340	148,394	12,640	0,001
Bloklar	2	61,560	30,779	2,620	0,133
Doğrusal	3	965,030	321,676	27,400	0,000
Karıştırma Hızı	1	950,990	950,994	81,010	0,000
Sıcaklık	1	9,370	9,371	0,800	0,398
Surfaktan Derişimi	1	4,660	4,663	0,400	0,546
Kare	3	581,900	193,966	16,520	0,001
Karıştırma Hızı*Karıştırma Hızı	1	529,190	529,188	45,080	0,000
Sıcaklık*Sıcaklık	1	46,070	46,066	3,920	0,083
Surfaktan	1	9,610	9,608	0,820	0,392
Derişimi*Surfaktan Derişimi					
2-Yönlü Etkileşim	3	23,850	7,951	0,680	0,590
Karıştırma Hızı*Sıcaklık	1	1,620	1,620	0,140	0,720
Karıştırma Hızı*Surfaktan Derişimi	1	19,660	19,656	1,670	0,232
Sıcaklık*Surfaktan Derişimi	1	2,58	2,576	0,22	0,652
Hata	8	93,92	11,740		
Uyum Eksikliği	5	87,24	17,449	7,85	0,060
Saf Hata	3	6,67	2,224		
Toplam	19	1726,26			

ANOVA sonuçları incelendiğinde ulaşılan model önemlidir ($p < 0,050$). Model ($p < 0,05$) doğrusallık göstermektedir. Karıştırma hızı ($p < 0,05$) doğrusallık göstermektedir ancak bunun yanında sıcaklık ve surfaktan derişimi doğrusallık göstermemektedir ($p > 0,050$). Modelde kare önemlidir ($p < 0,05$) ve Karıştırma Hızı*Karıştırma Hızı ($p < 0,05$) karesi önemli iken diğer karelerde bir önemlilik göstermemektedir. Modelde iki yönlü etkileşim ($p > 0,05$) önemsizdir. Uyum eksikliğinin p değeri 0,060 ($p > 0,05$) bulunmuştur. Uyum eksikliği değerinin $p > 0,050$ olması veriyle modelin uyduğunu göstermektedir. R² değeri %94,560 bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen ve

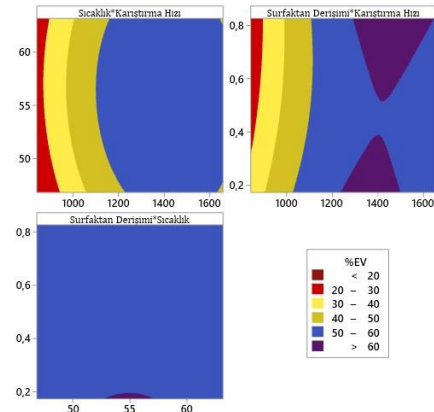
hesaplanan %EV'yi gösteren eşitlik Denklem 2'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \%EV = & -361,000 + 0,291 * \text{Karıştırma} \\ & \text{Hızı} + 8,55 * \text{Sıcaklık} - 94,700 * \text{Surfaktan Derişimi} - \\ & 0,000101 * \text{Karıştırma Hızı} * \text{Karıştırma Hızı} - \\ & 0,075 * \text{Sıcaklık} * \text{Sıcaklık} + 21,300 * \text{Surfaktan} \\ & \text{Derişimi} * \text{Surfaktan Derişimi} - \\ & 0,000360 * \text{Karıştırma} \\ & \text{Hızı} * \text{Sıcaklık} + 0,031 * \text{Karıştırma Hızı} * \text{Surfaktan} \\ & \text{Derişimi} + 0,570 * \text{Sıcaklık} * \text{Surfaktan Derişimi} \end{aligned} \quad (2)$$

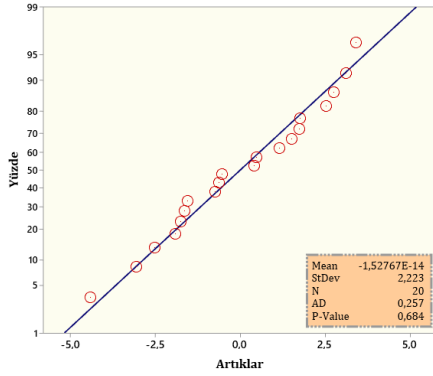
Seçilen üç parametrenin (çekirdek maddesi miktarı, surfaktan konsantrasyonu, karıştırma hızı) cevap yanıtı olan %EV ile ilişkisi 3B yüzey grafikleri aracılığıyla Şekil 1'de gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Kenevir Yağı-JE/ALJ mikrokapsüllerinin %EV için sıcaklık, surfaktan derişimi, karıştırma hızı için 3B yüzey grafiği

Şekil 1a incelendiğinde karıştırma hızı ve sıcaklığın birlikte artmasıyla %EV değeri tepe noktasına ulaşmakta ve sonradan azalmaktadır. Şekil 1b incelendiğinde karıştırma hızı ve surfaktan derişiminin birlikte artmasıyla %EV değeri tepe noktasına ulaşmakta ve sonradan azalmaktadır. Şekil 1c incelendiğinde sıcaklık ve surfaktan derişiminin birlikte belirli bir noktaya kadar artmasıyla %EV değeri tepe noktasına ulaşmakta ve azalmaktadır. Şekil 1c'de dışbükey bir yapı gözlenmiştir. Kenevir yağının JE-ALJ polimerleri ile mikroenkapsülasyon işlemi için seçilen üç parametrenin (sıcaklık, surfaktan konsantrasyonu, karıştırma hızı) bir fonksiyonu olarak %EV ilişkisi Şekil 2'de kontur grafiklerinde gösterilmiştir.

**Şekil 2.** Kenevir Yağı-JE/ALJ için sıcaklık, karıştırma hızı, surfaktan derişimi kontur grafikleri

İstatistiksel analizden sonra artıkların dağılımı incelenmiş ve yapılan normallik testi grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kenevir Yağı-JE/ALJ mikrokapsülleri için artıkların dağılımı grafiği

Grafiğin analizinde artıkların standart sapması $0,000 \pm 2,223$ ($n=20$) bulunmuştur. Anderson-Darling normallik testine göre $p=0,684$ bulunmuştur. Artıklar normal dağılım göstermektedir.

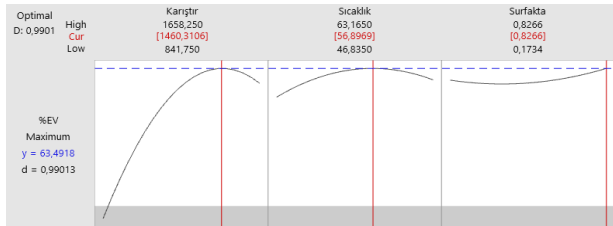
3.2. Kenevir Yağı - JE/ALJ deney tasarımı sonuçlarının maksimize optimizasyonu

Kenevir Yağı-JE/ALJ için maksimize olarak optimizasyonu sonucunda çoklu yanıt tahmini Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kenevir Yağı-JE/ALJ için çoklu yanıt tahmini

Değişken				
Karıştırma Hızı (rpm)	Sıcaklık (°C)	Sürfaktan Derişimi (%a/h)		
1460,310	56,897	0,827		
Cevap	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
%EV	63,491	3,290	(55,890; 71,090)	(52,530; 4,450)

Maksimize olarak optimizasyon sonucunda elde edilen optimizasyon grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kenevir Yağı-JE/ALJ maksimize olarak optimizasyon grafiği

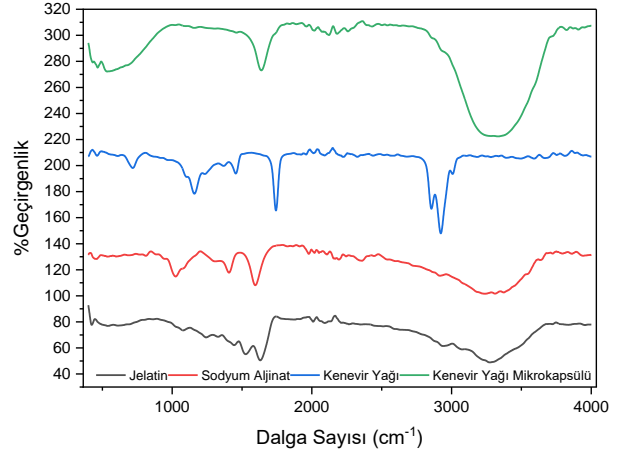
DeneySEL ve maksimize olarak optimize edilen parametrelerle üretilen kenevir yağı mikrokapsüllerinin teorik ve deneysel %EV sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kenevir Yağı-JE/ALJ optimize edilmiş parametrelerin %EV sonucu

Çekirdek-Duvar:	Kenevir Yağı-JE/ALJ
Maksimize Edilen Teorik %EV:	%63,491
Deneysel %EV:	%62,780

3.3. FT-IR Analizi Sonuçları

Kenevir Yağı-JE/ALJ FT-IR analizi sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir.

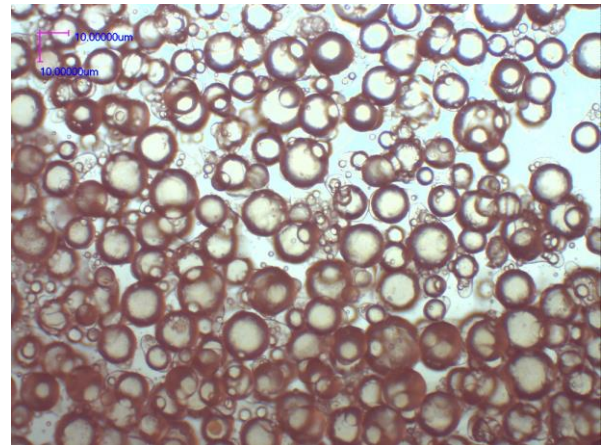


Şekil 5. Kenevir Yağı-JE/ALJ için FT-IR analizi sonuçları

Kenevir yağındaki 2940 cm^{-1} C-H alkan, 1740 cm^{-1} C=O ester, 1140 cm^{-1} C-O ester, 730 cm^{-1} C-H alken olduğu düşünülmektedir. $1747-1078 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bant jelatine ait C-N gerilme piki olduğu düşünülmektedir. 3442 cm^{-1} jelatindeki N-H gerilmesi olduğu düşünülmektedir. 3442 cm^{-1} sodyum aljinat -OH bandı olduğu düşünülmektedir. 1232 cm^{-1} estere ait C-O bandı olduğu düşünülmektedir [20]. 1232 cm^{-1} estere ait C-O sodyum aljinat bandı olduğu düşünülmektedir. $1747-1078 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bant jelatine ait olan C-N gerilme pikine ait olduğu düşünülmektedir. 2940 cm^{-1} C-H alkan, 1740 cm^{-1} C=O ester, 1140 cm^{-1} C-O ester, 730 cm^{-1} C-H Alken kenevir yağı gösterdiği düşünülmektedir.

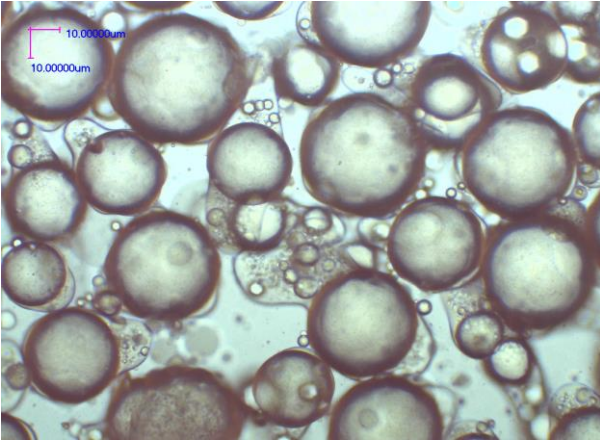
3.4. Optik Mikroskop Analizi

Kenevir Yağı-JE/ALJ optik mikroskop analizinden elde edilen görüntüler Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Kenevir Yağı-JE/ALJ Optik Mikroskop Görüntüsü

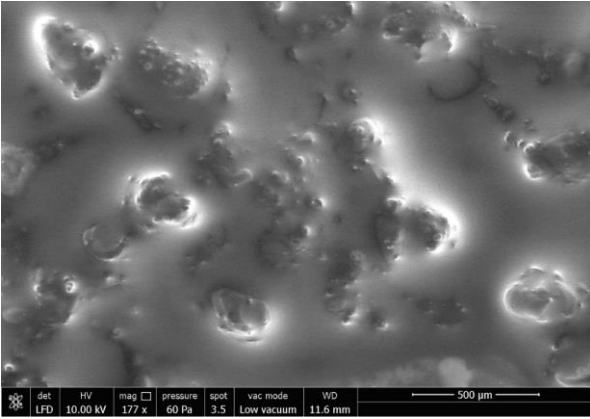
Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde mikrokapsüllerin düzgün, yuvarlak şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.



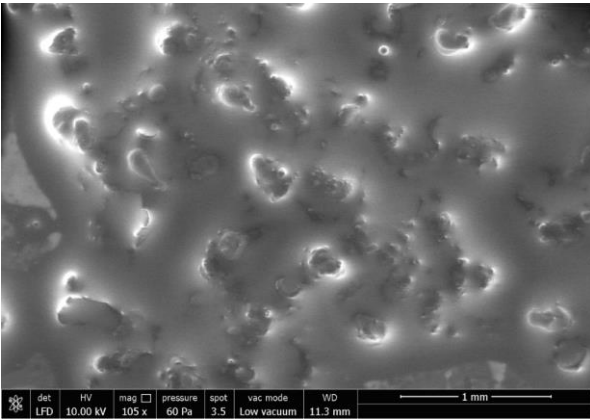
Şekil 7. Kenevir Yağı-JE/ALJ Optik Mikroskop Görüntüsü

3.5. SEM Analizi

Kenevir Yağı-JE/ALJ için SEM analizinden elde edilen görüntüler Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Kenevir Yağı-JE/ALJ SEM Görüntüsü

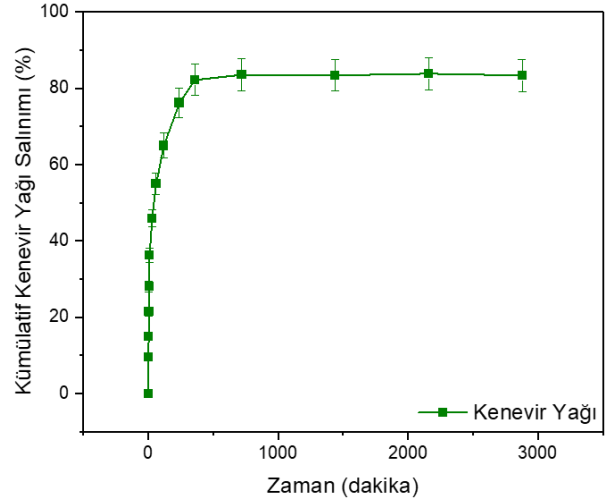


Şekil 9. Kenevir Yağı-JE/ALJ SEM Görüntüsü

Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen görüntüler elde edilirken kullanılan vakum modundan dolayı mikroenkapsüllerin patlayarak dağıldığı gözlenmiştir.

3.6. Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsüllerinin salınım özellikleri

Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsüllerinin hekzan ortamında incelenen salınım özellikleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsülü için salınım grafiği

Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsüllerinin hekzan ortamında 1. dakikada %9,515 olarak hesaplanan kümülatif salınım değeri, 30. dakikada %45,942 olarak, 60. dakikada %55,005 olarak, 360. dakikada %82,194 olarak ve 720. dakikada %83,406 olarak hesaplanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Kenevir yağı, dünyada farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılan bir yağdır. Kenevir bitkisinin farklı amaçlar içinde dünyada ve ülkemizde kullanım alanları artmaktadır. Kâğıt, tekstil gibi ürünlerde bir alternatif ortaya koyabilmektedir. Bu çalışmada oluşturulan bir deney setinde kenevir yağı kompleks koaservasyon yöntemi ile mikroenkapsüle edilmiştir. Elde edilen ürünlerin verimi kimyasal olarak hesaplanmış ve cevap yanıtı olarak (%EV) deney tasarımına girilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde model uyumsuzluğu değeri 0,060 bulunmuştur. p_{Model} Uyumsuzluğu > 0,050 olduğu için oluşturulan model ile veri uyumsuzdur. R^2 değeri %94,560 ($R^2 > %85,000$) bulunmuştur. Daha sonra maksimize olarak optimize edilen sonuçlar 1460,310 rpm karıştırma hızı, 56,897 °C sıcaklık ve %0,827 a/h surfaktan derişiminde verim değeri %63,491 hesaplanmış ve yapılan deneyde %62,780 olarak bulunmuştur. Elde edilen optik mikroskop görüntüleri mikroenkapsüllerin düzgün yuvarlak şeklinde olduğunu göstermiştir [12, 13]. Elde edilen FT-IR sonuçları da yapının başarılı şekilde oluşturulduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular kenevir yağının farklı faydaları için JE ve ALJ polimerleriyle kompleks koaservasyon yönteminde mikroenkapsüle edilebileceğini göstermektedir. Kenevir yağının farklı yöntem ve polimerler ile mikroenkapsülasyonu da literatüre katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi (BAP)

tarafından FDK-2019-7334 proje koduyla finansal olarak desteklenmiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Delshadi, R., Bahrami, A., Tafti, A. G., Barba, F. J., & Williams, L. L. (2020). Micro and nano-encapsulation of vegetable and essential oils to develop functional food products with improved nutritional profiles. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 72-83.
- [2] Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(1), 143-182.
- [3] Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., & García-Montoya, E. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1371-1382.
- [4] Napiórkowska, A., & Kurek, M. (2022). Coacervation as a Novel Method of Microencapsulation of Essential Oils—A Review. *Molecules*, 27(16), 5142.
- [5] Fávaro-Trindade, C. S., Pinho, S. C. D., & Rocha, G. A. (2008). Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. *Brazilian Journal of Food Technology*, 11(2), 103-112.
- [6] Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34-60.
- [7] Callaway, J. C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140(1), 65-72.
- [8] Deferne, J. L., & Pate, D. W. (1996). International Hemp Association. *Journal of the International Hemp Association*, 3(1).
- [9] Erasmus, U. (1993). *Fats that heal, fats that kill: the complete guide to fats, oils, cholesterol, and human health*. Book Publishing Company.
- [10] Box, G. E., Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley & Sons.
- [11] Bayram, O., Köksal, E., & Göde, F. (2020). Yanıt Yüzey Metodolojisi Şartlarında Karabaş Otu Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi İle Enkapsülasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 508-515.
- [12] Moral, E., Bayram, O., Köksal, E., Danaş, F., & Göde, F. (2021). Kabak Çekirdeği Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Mikroenkapsülasyonu. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 91-97
- [13] Devi, N., Hazarika, D., Deka, C., & Kakati, D. K. (2012). Study of complex coacervation of gelatin A and sodium alginate for microencapsulation of olive oil. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 49(11), 936-945.
- [14] Sittipummongkol, K., Chuysinuan, P., Techasakul, S., Pisitsak, P., & Pechyen, C. (2019). Core shell microcapsules of neem seed oil extract containing azadirachtin and biodegradable polymers and their release characteristics. *Polymer Bulletin*, 76(8), 3803-3817.
- [15] Aziz, S., Gill, J., Dutilleul, P., Neufeld, R., Kermasha, S. (2014). Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. *Journal of Microencapsulation*, 31(8), 774-784.
- [16] Kavousi, H. R., Fathi, M., Goli, S. A. (2017). Stability enhancement of fish oil by its encapsulation using a novel hydrogel of cress seed mucilage/chitosan. *International Journal of Food Properties*, 20(sup2), 1890-1900.
- [17] Hao, J., Wang, F., Wang, X., Zhang, D., Bi, Y., Gao, Y., Zhao, X., Zhang, Q. (2012). Development and optimization of baicalin-loaded solid lipid nanoparticles prepared by coacervation method using central composite design. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 47(2), 497-505.
- [18] Ocak, B. (2012). Complex coacervation of collagen hydrolysate extracted from leather solid wastes and chitosan for controlled release of lavender oil. *Journal of Environmental Management*, 100, 22-28.
- [19] Sharifi, F., Hadizadeh, F., Sadeghi, F., Hamed Mosavian, M. T., Zarei, C. (2016). Process Optimization, Physical Properties, and Environmental Stability of an α -Tocopherol Nanocapsule Preparation Using Complex Coacervation Method and Full Factorial Design. *Chemical Engineering Communications*, 203(1), 64-74.
- [20] Okur, M., Aktı, F., & Çetintaş, A. (2018). Polianilin/Aljinat Kompozit Malzemesinin Asit Violet 90 Boyar Maddesinin Gideriminde Kullanılması: Kinetik Ve İzoterm Değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6.