



**KUDRET NARI YAĞI YÜKLÜ BİYOBOZUNUR NANOKAPSÜLLERİN  
YARA ÖRTÜSÜ AMAÇLI DİZAYNI VE ÜRETİMİ**

**DESIGN AND PRODUCTION OF MOMORDICA CHARANTIA OIL LOADED  
BIODEGRADABLE NANOCAPSULES FOR WOUND HEALING PURPOSES**

Elif BOZKIR<sup>1</sup> Fatma İNAN<sup>1</sup> İrem Mukaddes BİLGİSEVEN<sup>2</sup> Serdar KARAKURT<sup>\*1,2</sup>

1 Biyokimya Bölümü, Fen Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

2 Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer Savunma Ana Bilim Dalı, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

**ABSTRACT**

Wound formation occurs as a result of chemical, chemical, mechanical, or thermal damage, leading to the disruption of tissue integrity on the skin surface, and can potentially create complications in our body at any moment. The rapid treatment of wounds and the care of wounds depend on the wound dressing material. Nanofiber wound dressings produced by the electrospinning method have become a promising method for the rapid healing of wounds. The nano-sized fibers in nanofiber wound dressings are highly preferred as an ideal treatment method due to their similarities to the extracellular matrix and their ability to contain drugs/biological agents, providing a suitable environment for wound healing. In this study, the aim was to develop a polymer-based nanofiber wound dressing that significantly accelerates the healing of wounds and enhances patient well-being, utilizing Momordica charantia (bitter melon) oil containing active biological agents. For this purpose, Momordica charantia oil was encapsulated into poly(lactic-co-glycolic acid) and electrospun into a polyethylene glycol-based nanofiber wound dressing. Fourier Transform Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM) analyses were performed to determine the chemical structure and morphology of the obtained nanofiber wound dressing. In the FTIR analysis of the nanofiber wound dressing developed with biodegradable nanocapsules, the chemical bonds of the nanofiber wound dressing were observed in detail. In the SEM analysis, uniformly sized PLGA nanocapsules were obtained, and it was observed that PLGA nanoparticles encapsulated with bitter melon oil were homogeneously distributed among the PEG nanospray structure. In conclusion, the nanofiber wound dressing developed to protect wounds from infections and expedite the healing process is an important candidate as an integrated polymeric wound dressing material, combined with traditional aromatic herbal oil treatment.

**Keywords:** Electrospinning; Momordica charantia (bitter melon); Nanofiber Wound Dressing; PEG; PLGA

**ÖZET**

Yara, kimyasal, mekanik veya termal hasar sonucu cilt yüzeyindeki doku bütünlüğünün bozulmasıyla meydana gelmektedir ve her an vücudumuzda komplikasyon yaratabilir. Yaranın hızlı bir şekilde tedavi edilebilmesi ve yaraların bakımı pansuman materyaline bağlı olarak değişmektedir. Elektro-eğirme yöntemi ile üretilen nanofiber yara örtüleri, yaraların hızlı iyileşmesi açısından umut verici bir yöntem haline gelmiştir. Nanofiber yara örtülerinde yer alan nano boyutlu lifler, hücre dışı matrikse benzerliklerinden dolayı ve ilaç/biyolojik ajan içerebileceğinden kaynaklı olarak yaraların iyileşmesi için uygun ortam sağladıkları için oldukça tercih edilen ideal bir tedavi yöntemidir. Bu çalışmada, aktif biyolojik ajanlar içeren Momordica charantia (kudret narı) yağı sayesinde yaraların iyileşmesini önemli ölçüde hızlandıran ve hasta refahını artıran polimer tabanlı nanofiber yara örtüsü geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, Momordica charantia yağı polilaktikoglikolik asit içerisine enkapsüle edilerek, polietilen glikol tabanlı nanofiber yara örtüsü elektro-spreylenmiştir. Elde edilen nanofiber yara örtüsünün kimyasal yapısı ve morfolojisi için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nanofiber yara örtüsünün FTIR analizinde biyobozunur nanokapsüllerle geliştirilen nanofiber yara örtüsünün kimyasal bağları ayrıntılı bir şekilde gözlenmiştir. SEM analizinde ise eş boyutlu PLGA nanokapsüllerin elde edildiği ve kudret narı yağı ile kapsüllenen PLGA nanopartiküllerinin PEG nanosprey yapısı arasında homojen dağıldığı görülmüştür. Sonuç olarak yarayı enfeksiyonlardan korumak, iyileşme sürecini hızlandırmak amacı ile geliştirilen nanofiber yara örtüsü geleneksel aromatik bitkisel yağ tedavisi ile birleştirilerek entegre polimerik yara örtü malzemesi olarak kullanılabilir önemli bir adaydır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrospinning; Momordica charantia (kudret narı); Nanofiber Yara Örtüsü; PEG; PLGA

\*Corresponding Author (Sorumlu Yazar), e-mail: kserdar1@yahoo.com

Submission Date Başvuru Tarihi	Revision Date Revizyon Tarihi	Accepted Date Kabul Tarihi	Published Date Yayın Tarihi
02.11.2023	15.12.2023	19.12.2023	27.12.2023

## 1. GİRİŞ

Deri, canlıların kendilerini çevre etkilerinden koruyan ve birçok biyolojik fonksiyonu yerine getiren en büyük duyu organıdır. Travma, böcek ısırıkları, ameliyat gibi benzer durumlarda derinin anatomik yapısı ve fonksiyonunun bozulması yara olarak adlandırılmaktadır. Yara iyileşmesinde derinin fonksiyonu yeniden sağlanılarak anatomik yapı yeniden oluşmaktadır. İnsan vücudunda yara iyileşmesi, dört aşamada gerçekleşir: hemostaz, inflamasyon, proliferasyon ve yeniden şekillenme. Bu aşamalar ve bu aşamaların getirdiği biyofizyolojik işlemler belirli zaman aralıklarında birbirini takip eden uygun bir sıralamada ve belirli bir süre boyunca devam etmelidir [1]. İnflamasyon, bozulan doku bütünlüğüne karşı yabancı maddelerin yayılımını engellemek, kan kaybını önlemek ve dokunun onarımı için ortam hazırlanan safhadır. Bu süreçte trombositler, trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), makrofajlar, sitokinler iş görmektedir. Hücresel proliferasyon safhasında fibroblast, keratosit, endotel hücreler bulunur ve yaranın olduğu bölgede granülasyon dokunun oluşumu gerçekleşir. Yara iyileşme sürecinin son ve en uzun evresi olan yeniden şekillenme, granülasyon dokunun yerini skar dokunun aldığı safhadır [2, 3]. Süreçte bir kesinti, anormallik ya da sürede uzama gerçekleştiğinde yara iyileşmesi gecikebilir veya iyileşmeyen kronik yaralar meydana gelmektedir.

Yaranın meydana gelmesinin ardından patolojik istilayı engelleyebilmek ve vücut dengesinin sağlanması açısından kısa sürede ve etkili tedavi yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [4]. Bu amaçla elektro-eğirme yöntemi ile üretilen nanofiber yara örtüleri; geniş yüzey alanı, üç boyutlu destek yapısı ve küçük gözenekli yapıları sayesinde yaraların hızlı iyileşmesinde önemli role sahiptir [5]. Nanofiber yapıların hücre dışı matrikse (ECM) benzerliğinden dolayı yara çevresinde bulunan hücreler ile etkileşim kurabilir ve hücrelerin büyümesine, çoğalmasında yardımcı olurlar [6]. Nanofiber yapıları tedavi malzemeleri, yüksek hacim ve yüzey oranlarının çeşitli biyoaktif molekülleri yükleme kapasitelerine sahip olması nedeniyle yara bakımı için oldukça etkili potansiyele sahip yapılarıdır [7]. Elektro-eğirme yöntemi, basit ve kusursuz morfolojik yapıya sahip nanofiberler elde etmek için kullanılan bir tekniktir [8]. Bu yöntem, yüksek bir elektrik alanı altında enjektör iğnesinden çıkan çözeltiyi püskürtme işlemi yaparak karşısında bulunan toplayıcının yüzeyinde nanofiber yapıların meydana gelmesine dayanmaktadır [9]. Elektro-eğirme yöntemi ile elde edilen nanofiberlerde poliüretan, polivinilalkol, polietilen glikol, jelatin gibi çeşitli doğal veya sentetik polimerler kullanılabilir. Poliüretan (PU), esnekliği ve güçlü mukavemet sergilemesi sayesinde nanofiber membranlar için kullanılabilir mükemmel bir matrikstir. Geliştirilen poliüretan/propolis nanofiber yara örtüsü güçlü antibakteriyel özelliklerine ek olarak fibroblast hücrelerinde hücre canlılığını artırarak yara pansumanı ve cilt doku mühendisliğinde kullanılabilir [10]. Diğer yandan polivinil alkol (PVA), mükemmel biyoyumluluğa sahip bir polimerdir. PVA/gümüş nanopartiküller/salyangoz mukus kompozitlerinden geliştirilen nanofiber yara pansumanı enfekte cilt bölgesinde bakteriyel büyümenin engellenmesiyle *in vitro* ve *in vivo* yara iyileştirme çalışmalarında hücre canlılığını artırmıştır [11]. Polilaktik-ko-glikolik asit (PLGA) ise istenilen şekil ve boyutta işlenebilmesi ve her boyuttaki molekülleri kapsülleyebilme özelliğine sahip olması sayesinde sık tercih edilen biyoyumlu kopolimerlerdendir [12, 13]. Polietilen glikol (PEG) hem suda hem de organik çözücülerde çözünebilir, düşük toksisiteye ve düşük erime noktasına sahiptir ve mükemmel biyoyumluluğu sayesinde ilaç dağıtım sistemlerinde ve doku mühendisliğinde kullanılabilir [14-16]. Elektro-eğirme yöntemi ile geliştirilen PLA/PEG/kurkumin (Cur) kompozit nanofiberlerinin gözenekli yapısı sayesinde ilaç salım özelliği geliştirilerek ilaç dağıtım, biyolojik iskele, tıbbi pansuman ve antibakteriyel malzemeler gibi biyomedikal uygulamalar için büyük potansiyele sahip olabilir [17]. *Momordica charantia* (kudret narı)'nın viral enfeksiyonlar, diyabet, HIV, inflamasyon, kanser ve ülser gibi birçok hastalığın tedavisinde kullanılan tıbbi bir bitki olduğu bilinmektedir [18]. Ayrıca bazı çalışmalarda yara bakımı uygulamalarında kullanılmaya başlandığı görülmektedir. *Momordica charantia* PLA/Ag nanofiberlerin yeşil sentezi için tercih edilmiştir [19], yine başka bir çalışmada farelerde anti-inflamatuar bir materyal olarak kudret narı kullanılmış ve proinflamatuar sitokinleri azaltarak sepsisli farelerde inflamasyon tepkilerini artırarak etki göstermiştir [20]. PLGA nanotaşıyıcı sistemleri, genellikle ilaç, gen, protein ve diğer biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımını sağlamak üzere özel olarak tasarlanmıştır. Bu biyopolimerin temel özelliklerinden biri, vücut içinde doğal olarak biyolojik olarak parçalanabilir olması ve bu parçalanma sürecinde oluşan ürünlerin zararsız metabolitlere dönüşebilmesidir. Bu özelliği, nanotaşıyıcıların vücutta uzun süreli bir kalmayı önleyerek istenmeyen birikimleri engelleyerek, biyolojik uyumluluk

açısından avantajlı kılar. PLGA, ilaç veya diğer biyoaktif maddelerin kontrollü salınımını gerçekleştirmek amacıyla bir matriks olarak kullanılabilir. Bu özellik, tedavi edilen bölgede uzun süreli bir etki sağlamak açısından kritiktir. PLGA nanotaşıyıcıları, özellikle ilaç taşınması alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. İlaç molekülleri, nanotaşıyıcı içine entegre edilir ve bu nanotaşıyıcılar, hedef bölgeye taşınarak zaman içinde kontrollü bir ilaç salınımını gerçekleştirir. Ayrıca, PLGA nanotaşıyıcıları gen terapisi uygulamalarında da etkili bir rol oynayabilir. Bu sistemler, genetik materyali koruyarak ve kontrollü salınım mekanizmalarını kullanarak gen terapisinin etkinliğini artırabilir. PLGA nanotaşıyıcı sistemleri, sadece ilaç ve gen terapisi alanlarında değil, aynı zamanda aşı taşıyıcısı, görüntüleme ajanı taşıyıcısı ve doku mühendisliği gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu çok yönlü kullanım, PLGA nanotaşıyıcılarını biyomedikal araştırmalarda öne çıkan bir malzeme haline getirmiştir. Bu nanotaşıyıcılar, genellikle emülsiyon, çift emülsiyon, çözelti çekimi ve elektro-eğirme gibi çeşitli üretim yöntemleri ile elde edilebilir.

Bu çalışmada, antibakteriyel, antidiyabetik, antioksidan [21] özelliklere sahip *Momordica charantia* (kudret narı) yağı PLGA içerisine çift emülsiyon uçurma yöntemi ile enkapsüle edilmiştir. Ardından pansuman malzemesi üzerine taşıyıcı katman olarak adlandırdığımız ve içerisinde tedavi edici özelliğe sahip *Momordica charantia* yağında bulunduğu biyobozunur nanokapsül-PEG kompleksi elektro-eğirme yöntemi ile üretilmiştir. Böylelikle akut ve kronik olarak meydana gelen yaraların iyileştirilmesinde kullanılmak üzere yenilikçi bir yara pansuman malzemesinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Yara pansuman malzemesinde yaranın biyolojik aktivitesi oldukça iyi olan kudret narı yağı ile hızlı bir şekilde iyileşmesi ve bu süre içerisinde elastik yapıya sahip olması nedeniyle hastanın günlük konforunu olumsuz yönde etkilemeden yaranın kapanmasına destekçi olması amaçlanmıştır. Geliştirilen yara örtüsünün kimyasal karakterizasyon çalışmaları FTIR, SEM ve DLS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen nanofiber yara örtüsü geleneksel aromatik bitkisel yağ tedavisi ile birleştirilerek entegre polimerik yara örtü malzemesi olarak kullanılabilen önemli bir aday niteliği taşımaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Malzemeler

Polilaktik-ko-glikolik asit (PLGA, Mw:100 kDa), Polietilen glikol (PEG, Mw = 100 kDa), Polivinil alkol (PVA, Mw: 130 kDa), Diklorometan (DCM) ve Dimetilformamid (DMF) Sigma-Aldrich (Missouri, ABD)'den satın alınmıştır.

### 2.2. Biyobozunur Nanokapsül Sentezi

Nanokapsüller çift emülsiyon uçurma yöntemine göre sentezlenmiştir. Öncelikle 50 mg PLGA tartılarak 500 µL DCM içerisinde çözdürülmüştür. %4 PVA ve %0,3 PVA çözeltileri ayrı ayrı dH<sub>2</sub>O'da hazırlanmıştır. *Momordica charantia* (Kudret Narı) yağı kapsülasyonu için PLGA çözeltisi içine 150 µL kapsülasyon maddesi, PVA (%4) ve PVA (%0,3) eklenerek DCM'nin uzaklaşması için 3 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Nanokapsüller 10.000 x rpm'de 15 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Yıkama işlemi dH<sub>2</sub>O ile yapılmıştır ve 3 kez tekrarlanmıştır. Santrifüj ve yıkama işlemleri sonunda nanokapsüller-110°C'de liyofilizatörde kurutularak katı hale getirilmiştir [22].

### 2.3. Nanofiber Yara Örtüsü Tasarımı

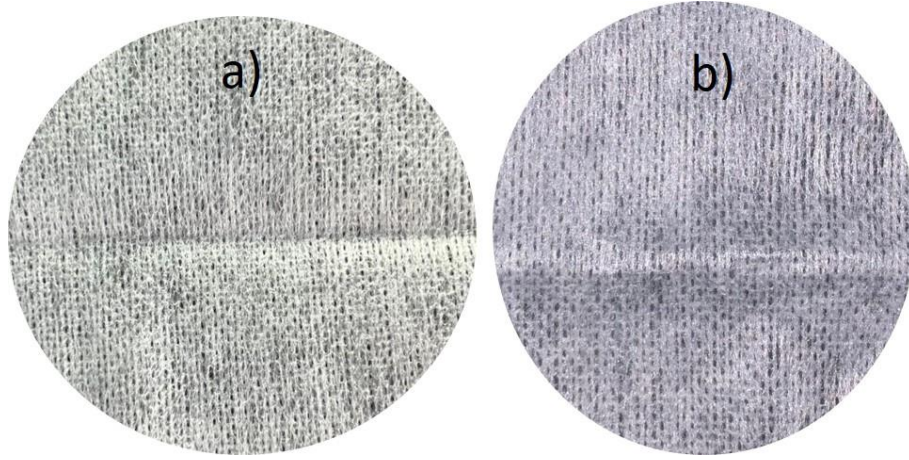
PEG ve biyobozunur nanokapsül içeren nanofiber yara örtüsü elektro-eğirme yöntemiyle geliştirilmiştir [23]. İdeal bir yara örtüsü üretebilmek amacıyla optimizasyon çalışmaları için %3, %5 ve %10 konsantrasyonlarda PEG çözeltisi DMF çözücüsünde ayrı ayrı hazırlanmıştır. Polimer çözeltileri 5 ml'lik bir şırıngaya yerleştirilmiştir. Elektro-eğirme kullanım parametreleri olarak 10-22 kV, 0,5-1,5 ml/saat akış hızı ve 10-20 cm toplayıcı mesafesi ayarlanarak optimum koşullar araştırılmıştır. En ideal konsantrasyon olarak %5 PEG seçilmiştir ve nanofiber yara örtüsü için bu konsantrasyon 1:10 oranında biyobozunur nanokapsüllerle birleştirilmiştir. Polimer ve nanokapsül karışımı 5 mL'lik şırıngaya alınarak 20 kV, 1 ml/saat akış hızında, 18 cm mesafede 60 dk boyunca elektro-spreylenmiştir.

## 2.4. Morfolojik Analiz

Biyobozunur nanokapsüllerin boyut dağılımları ve zeta potansiyelleri Dinamik Işık Kırılımı (DLS, Malvern) ile araştırılmıştır. PEG ve biyobozunur nanokapsül içeren nanofiber yara örtüsünün yüzey grupları ve kimyasal yapısı ATR-FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS-5 ATR/FTIR Spektrometresi) ve yüzey morfolojisi ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak (JEOL JSM 7600F) incelenmiştir [24].

## 3. BULGULAR

Yara örtüsünü ideal koşullarda üretebilmek için öncelikle farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PEG polimer çözeltileri için farklı elektro-eğirme parametreleri kullanılarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (**Tablo 1**). En etkili ve başarılı nanofiber üretim süreci için ideal PEG konsantrasyonu %5 olarak seçilmiştir. Voltaj 20 kV, şırınga ucu ve kolektör arasındaki uzaklık 18 cm, akış hızı 1.0 mL/saat olacak şekilde nanofiber üretilmiştir (**Şekil 1**).

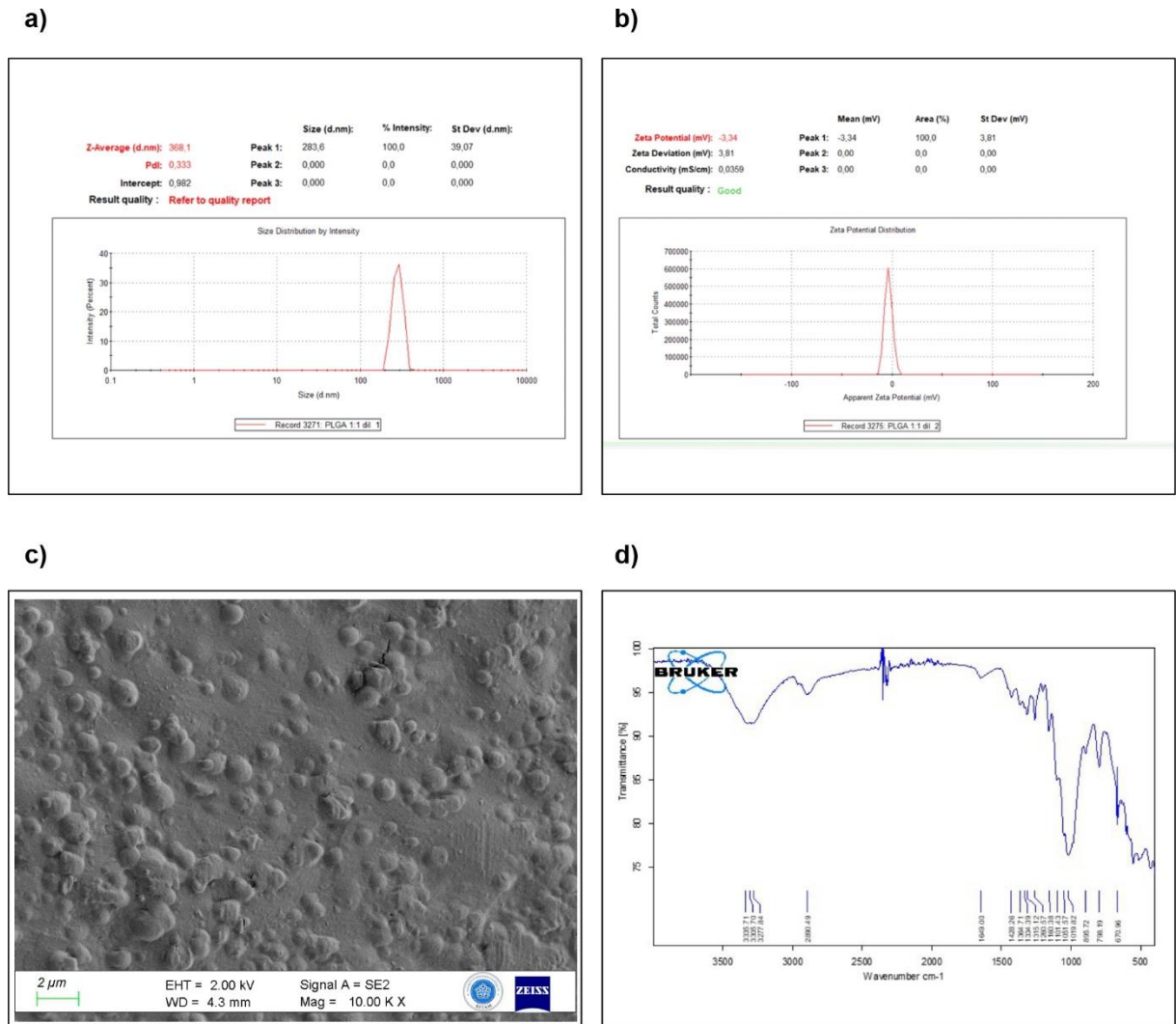


**Şekil 1.** Oluşturulan biyobozunur nano yapıly yara örtüsü **a)** Elyaf malzeme; **b)** Elyaf malzeme üzerine kudret narı içeren PLGA kapsülleri ile PEG karışımı

**Tablo 1** Yara örtüsü üretiminde kullanılan PEG polimeri için farklı elektro-eğirme koşulları. Gözlem sütunundaki + işareti nanofiberlerin başarılı bir şekilde oluştuğunu gösteren proses koşullarını ifade etmektedir.

Polimer Konsantrasyonu (%)	Voltaj (kV)	Mesafe (cm)	Enjeksiyon hızı (ml/saat)	Gözlem
%3 PEG	12	15	0.8	-
	15	15	0.8	-
	18	18	1.0	-
%5 PEG	15	12	0.5	-
	20	18	1.0	+
	22	15	0.5	+
%10 PEG	18	15	1.0	+
	22	15	0.5	-
	22	18	0.5	-

Biyobozunur nanokapsüllerin boyut dağılımlarını öğrenmek için öncelikli olarak DLS analizi gerçekleştirilmiştir. Kudret narı yağı ile kapsüllenen PLGA nanopartiküllerinin boyutunun 100-300 nm arasında olduğu görülmüştür. **Şekil 2a**'ya göre nanopartiküllerin ortalama parçacık boyutu  $283.6 \pm 39.07$  nm olarak belirlenmiştir. PLGA nanopartiküllerinin, nanopartikül yüzeylerinde karboksil uç gruplarının varlığından dolayı  $-3.34 \pm 3.81$  mV zeta potansiyeline sahip olduğu gözlenmiştir (**Şekil 2b**). Elektro-eğirme yöntemi ile geliştirilen nanofiber yara örtüsünün SEM görüntüsünde eş boyutlu PLGA nanokapsüllerin elde edildiği ve kudret narı yağı ile kapsüllenen PLGA nanopartiküllerinin PEG nanosprey yapısı arasında homojen dağıldığı görülmektedir (**Şekil 2c**). PLGA nanofiberlerin PEG ile elektro-sprey yapması sonucu ve yapıda kudret narı yağının bulunması ile SEM görüntülerinde mikro küre oluşumları gözlenmiştir. **Şekil 2d**'deki ATR-FTIR sonuçlarına göre biyobozunur nanokapsüllerle geliştirilen nanofiber yara örtüsünün kimyasal bağları ayrıntılı bir şekilde gözlenmiştir. FT-IR spektrumunda gözlenen  $1466 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik muhtemelen kopolimerin karbonil grubunun bir parçasıdır.  $1059 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik PEG'in varlığı sonucu yapıda meydana gelen C-O-C bağından kaynaklanabilir. PLGA'nın varlığı ise  $2877 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-H bandını gösteren bant ile doğrulanmıştır [25].



**Şekil 2.** Kudret narı yağı yüklü biyobozunur nanokapsüllerin kimyasal karakterizasyonlarına ait analiz sonuçları **a)** Ortalama partikül boyutları; **b)** Zeta potansiyelleri; **c)** SEM görüntüleri; **d)** ATR-FTIR sonuçları.

#### 4. TARTIŞMA

Yara iyileşmesi sürecinde, hemostatik, inflamatuvar, proliferatif ve remodelleme olmak üzere dört temel adım mevcuttur. Cildin bariyer fonksiyonu, vücudu çevresel etkenlere karşı koruma, nemin muhafazası ve patojenlere karşı direnç gösterme gibi kritik bir rol oynar. Bu nedenle, cilt bütünlüğünün zarar

görmesi, vücut için potansiyel ciddi sağlık riskleri doğurabilir. Hasar görmüş cildin hızlı iyileşmesini sağlamak amacıyla, yara bölgesindeki intrinsik iyileşme süreci derhal başlatılır. Yara iyileşme süreci karışık süreçleri içinde barındıran patofizyolojik bir süreçtir. Yara iyileşmesi sürecine engel olan yara enfeksiyonunun önlenmesine ek olarak etkili ve kapsamlı yara bakımının yapılması yara bakımı açısından önem kazanmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen yeni nesil nanofiber yara örtüler içerdiği çeşitli polimerler sayesinde ve biyoaktif ajanları dahil etme yeteneği ve ECM'yi taklit edebilme yeteneklerinden dolayı tercih edilmektedir [12]. Bu çalışmada kudret narı yağı PLGA içerisine çift emülsiyon uçurma yöntemi ile enkapsüle edilerek PEG ile kompleks oluşturulmuş ve elektro-eğirme yöntemi ile yara örtüsü üretilmiştir. Geliştirilen yara örtüsünün amacı şeker hastaları başta olmak üzere akut ve kronik yaralanmalara maruz kalan hastaların iyileşmelerinde kullanılmak üzere, mevcut yara pansuman malzemelerinden farklı olarak bitkisel tedavi edici ajanı biyobozunur polimer nanopartikül içerisine kapsülleyerek nanopüskürtme yöntemi ile yara örtüsünün destek yüzeylerini oluşturmaktır. Elektrosponning yalnızca tek bir polimer nanofiberin hazırlanmasına değil, aynı zamanda birden fazla polimerin karıştırılmasına ve bunların biyoaktif maddelerle yüklenmesine olanak tanır ve geniş bir şekilde yara iyileşmesinde kullanılmaktadır [26]. Derinin ekstrasellüler matriksi, kollajen, elastin, laminin ve çeşitli polisakkaritler ve proteoglikanların fibroz yapısal proteinler olarak bir araya gelmesinden oluşur. Elektrosponning ile deri dokusundaki ECM ile benzer bir kompozisyon ve yapı/sistemdeki nanofiberler üretilebilir. Elektrosponnan nanofiberler, deri hücre proliferasyonu, göçü, diferansiyasyonu ve ekstrasellüler matriks birikimi tepkilerini düzenleyebilir [27]. Bu benzersiz özellikler nedeniyle nanofiberler, cerrahi dikişler, yara pansumanları ve yara iyileşmesi ile doku mühendisliği gibi alanlarda kullanılabilir gibi, aynı zamanda enfeksiyon önleme amacıyla antimikrobiyal ajanlar içeren nanofiber pansumanlar veya dikişler ile de kullanılabilir, çünkü bakteriler çoğu antimikrobiyal ajan, örneğin antibiyotiklere karşı bazı direnç geliştirmişlerdir [28]. Nanofiber yara örtüleri tasarlanırken yara iyileşmesi sürecini teşvik etmek ve bu süreçte mikrobiyal kontaminasyonun önüne geçebilmek için uygun polimerler seçilmelidir. Yapıya doğal ürünler eklemek biyoyumluluğu ve tıbbi özellikleri geliştirerek yeşil kimyanın avantajlarını sunmaktadır. Literatürde nanofiber yara örtüsü tasarlanırken *Momordica charantia* farklı amaçlarla kullanılmıştır. *Momordica charantia* ekstraktının indirgeyici olarak kullanıldığı PLA/Ag nanofiberlerin antibakteriyel özellikleri ve *in vitro* biyoyumluluğunun arttığı gözlenmiştir [19]. Farklı bir çalışmada *Momordica charantia* yüklü PVA nanofiberleri hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilere karşı uygun antibakteriyel aktivite göstermiştir [29]. *Momordica charantia*'daki vicin ve polipeptit-p gibi aktif bileşikler hipoglisemik özellikler sergilerken aynı zamanda pektinler, saponinler ve steroidal glikozitler de içerir [30]. Bitkisel kaynaklardan elde edilen pektin ve saponinlerin yara iyileştirici özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. *Momordica charantia* özütü kullanılarak hazırlanan merhem sıçan yaralarını povidon merheminden daha iyi ve daha hızlı bir şekilde iyileştirmiştir [31]. Geliştirilen yara örtüsünün kimyasal karakterizasyonu başarılı bir şekilde nanofiber yapının üretildiğini göstermektedir. Ancak üretilen yara örtüsünün tam iyileşme mekanizmasını ortaya çıkarmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Yapılacak *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar neticesinde yara örtüsünün iyileştirme gücü araştırılarak moleküler mekanizmasının aydınlatılması gerekmektedir.

## 5. SONUÇ

Yara örtüleri tasarlanırken nanofiber yapıların ve pozitif biyolojik aktiviteye sahip doğal maddelerin kombinasyon halinde kullanımları biyoaktif/interaktif yara pansuman malzemeleri geliştirilmesi açısından dikkat çekici özellikler taşımaktadır. Nanofiber yapıların yüksek yüzey/hacim oranları, kontrollü ilaç salınım kapasiteleri, ayarlanabilen gözenekli yapıları, su buharı ve oksijen geçirgenlikleri büyüleyici özellikler sunmaktadır. Geliştirilen nanofiberlerin bu fiziksel özelliklerine ek olarak *Momordica charantia* yağı yüklü biyobozunur nanokapsüllerin antioksidan özellikleri ve hücre proliferatif aktiviteleriyle birleştirilerek biyolojik özelliklerinin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen kimyasal karakterizasyonlar neticesinde nanofiberlerin çapları, nanofiberlerin morfolojileri ve gözenek yapıları yara iyileşmesi için uygun ortam sağlayabilecek özelliklere sahip olduğunu göstermiştir.

**TEŞEKKÜR**

Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine [Proje no:23402001] destekleri için teşekkür ederiz.

**REFERANSLAR**

- [1] Guo, S. and L.A. Dipietro, Factors affecting wound healing, *J Dent Res*, 89(3), 219-29, 2010.
- [2] Karasu, A. and B. Bakir, Yara ve Yara İyileşmesi (Wound and Wound Healing), 36-43, 2008.
- [3] Wang, P.-H., et al., Wound healing, *Journal of the Chinese Medical Association*, 81(2), 2018.
- [4] Simões, D., et al., Recent advances on antimicrobial wound dressing: A review, *Eur J Pharm Biopharm*, 127, 130-141, 2018.
- [5] Jiang, Z., et al., Nanofiber Scaffolds as Drug Delivery Systems Promoting Wound Healing, *Pharmaceutics*, 15(7), 1829, 2023.
- [6] Homaeigohar, S. and A.R. Boccaccini, Antibacterial biohybrid nanofibers for wound dressings, *Acta Biomaterialia*, 107, 25-49, 2020.
- [7] Wang, F., et al., Advances in Electrospinning of Natural Biomaterials for Wound Dressing, *Journal of Nanomaterials*, 2020, 8719859, 2020.
- [8] Sarwar, M.N., et al., Electrospun PVA/CuONPs/Bitter Gourd Nanofibers with Improved Cytocompatibility and Antibacterial Properties: Application as Antibacterial Wound Dressing, *Polymers*, 14(7), 1361, 2022.
- [9] Bhardwaj, N. and S.C. Kundu, Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique, *Biotechnology Advances*, 28(3), 325-347, 2010.
- [10] Kim, J.I., et al., Electrospun propolis/polyurethane composite nanofibers for biomedical applications, *Materials Science and Engineering: C*, 44, 52-57, 2014.
- [11] El-Attar, A.A., et al., Silver/Snail Mucous PVA Nanofibers: Electrospun Synthesis and Antibacterial and Wound Healing Activities, *Membranes (Basel)*, 12(5), 2022.
- [12] Liu, S.-J., et al., Electrospun PLGA/collagen nanofibrous membrane as early-stage wound dressing, *Journal of Membrane Science*, 355(1), 53-59, 2010.
- [13] Makadia, H.K. and S.J. Siegel, Poly Lactic-co-Glycolic Acid (PLGA) as Biodegradable Controlled Drug Delivery Carrier, *Polymers (Basel)*, 3(3), 1377-1397, 2011.
- [14] Kikuchi, A., 4.17 Surface-Grafting Methods for Biomaterials, in *Comprehensive Biomaterials II*, P. Ducheyne, Editor. 2017, Elsevier: Oxford. p. 292-302.
- [15] Badi, N., Non-linear PEG-based thermoresponsive polymer systems, *Progress in Polymer Science*, 66, 54-79, 2017.
- [16] Rahmani, S., et al., Chapter 7 - Polymer nanocomposites for biomedical applications, in *Fundamentals of Bionanomaterials*, A. Barhoum, J. Jeevanandam, and M.K. Danquah, Editors. 2022, Elsevier. p. 175-215.
- [17] Wang, F., et al., Preparation, Characterization and Properties of Porous PLA/PEG/Curcumin Composite Nanofibers for Antibacterial Application, *Nanomaterials (Basel)*, 9(4), 2019.
- [18] Dandawate, P.R., et al., Bitter melon: a panacea for inflammation and cancer, *Chin J Nat Med*, 14(2), 81-100, 2016.
- [19] Alippilakkotte, S., S. Kumar, and L. Sreejith, Fabrication of PLA/Ag nanofibers by green synthesis method using *Momordica charantia* fruit extract for wound dressing applications, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 529, 771-782, 2017.
- [20] Chao, C.-Y., et al., Anti-Inflammatory Effect of *Momordica Charantia* in Sepsis Mice, *Molecules*, 19(8), 12777-12788, 2014.

- 
- [21] Pişkin, A., et al., The beneficial effects of *Momordica charantia* (bitter gourd) on wound healing of rabbit skin, *Journal of Dermatological Treatment*, 25(4), 350-357, 2014.
- [22] Ebadollahi, A., et al., Nanoencapsulation of Acetamiprid by Sodium Alginate and Polyethylene Glycol Enhanced Its Insecticidal Efficiency, *Nanomaterials*, 12(17), 2971, 2022.
- [23] Chen, S.H., et al., Electrospun Water-Borne Polyurethane Nanofibrous Membrane as a Barrier for Preventing Postoperative Peritendinous Adhesion, *Int J Mol Sci*, 20(7), 2019.
- [24] Wang, F., et al., Preparation, Characterization and Properties of Porous PLA/PEG/Curcumin Composite Nanofibers for Antibacterial Application, *Nanomaterials*, 9(4), 508, 2019.
- [25] Ghandforoushan, P., et al., Novel nanocomposite scaffold based on gelatin/PLGA-PEG-PLGA hydrogels embedded with TGF- $\beta$ 1 for chondrogenic differentiation of human dental pulp stem cells in vitro, *Int J Biol Macromol*, 201, 270-287, 2022.
- [26] Safonova, L., et al., Silk Fibroin/Spidroin Electrospun Scaffolds for Full-Thickness Skin Wound Healing in Rats, *Pharmaceutics*, 13(10), 2021.
- [27] Barbosa, F., et al., Novel Electroactive Mineralized Polyacrylonitrile/PEDOT:PSS Electrospun Nanofibers for Bone Repair Applications, *Int J Mol Sci*, 24(17), 2023.
- [28] Luraghi, A., F. Peri, and L. Moroni, Electrospinning for drug delivery applications: A review, *J Control Release*, 334, 463-484, 2021.
- [29] Hashmi, M., S. Ullah, and I.S. Kim, Electrospun *Momordica charantia* incorporated polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers for antibacterial applications, *Materials Today Communications*, 24, 101161, 2020.
- [30] Jia, S., et al., Recent Advances in *Momordica charantia*: Functional Components and Biological Activities, *International Journal of Molecular Sciences*, 18(12), 2555, 2017.
- [31] Hussan, F., et al., *Momordica charantia* ointment accelerates diabetic wound healing and enhances transforming growth factor- $\beta$  expression, *J Wound Care*, 23(8), 400, 402, 404-7, 2014.