

NANO LİFLER (BÖLÜM 2)*

NANO FIBRES (PART 2)

Tekstil Müh. Gamze SÜPÜREN
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi

Tekstil Müh. Z. Evrim KANAT
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi

Arş. Gör Ahmet ÇAY
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Tekstil Müh. Tuba KIRCI
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi

Dr. Tülay GÜLÜMSER
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi

Prof. Dr. Işık TARAKÇIOĞLU
TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi

ÖZET

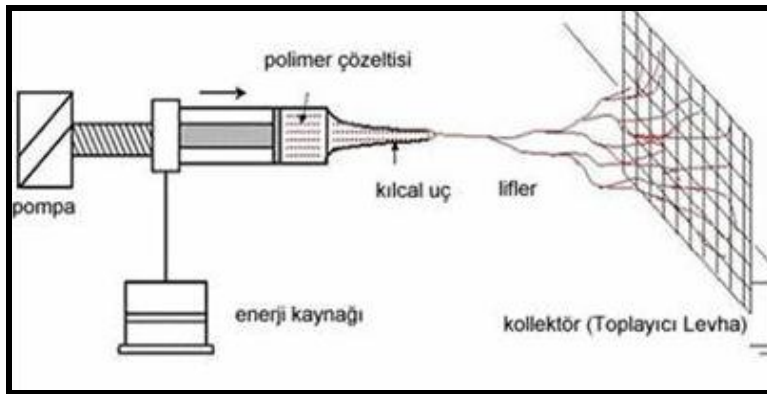
Nano lifler, genel olarak bir mikrondan daha düşük çapa sahip olan lifler olarak tanımlanmaktadır. Nano liflerden oluşan yüksek yüzey alanına sahip ve gözenekli yüzeyler, farklı özellikleri sebebiyle pek çok alanda kullanım olanağına sahip olmaktadır. Bu makalede, nano liflerin üretim yöntemleri, özellikleri ve kullanım olanakları ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nano Lifler, gözenekli yüzeyler

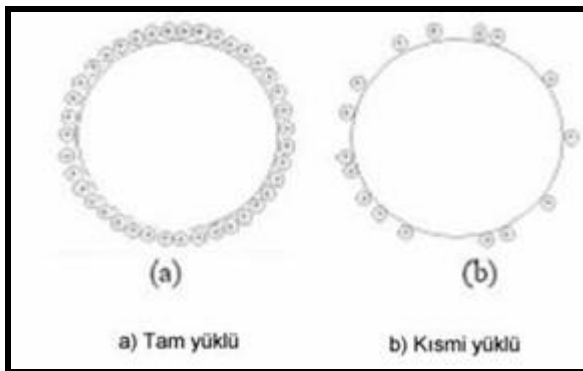
ABSTRACT

Nanofibers are generally referred to fibers with a diameter less than 1 micron. They have different commercial applications due to their properties such as high surface area and porosity. The production methods, physical properties and different application areas of these fibers are given in this article.

Key Words: Nano fibers, porosity



Şekil 6. Elektrospinning Yöntemi



Şekil 7. Polimer Jeti Yüzeyindeki Yük Dağılımı

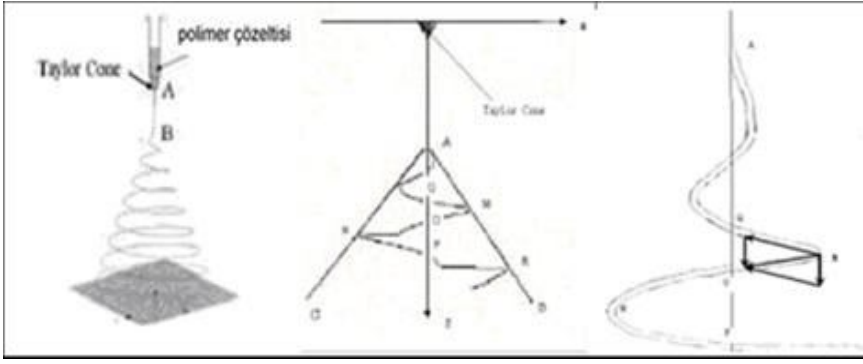
2.4. Fibrilasyon ile nano lif üretimi

Nano lif üretiminde oldukça ilginç bir başka yaklaşım da selülozik liflerin çok ince lifler şeklinde fibrilasyonu sonucu nano liflerin elde edilmesidir. Fibrilasyona uğrayan selülozik liflerden, ince, hidrofil, mikro gözenekli yapıda yüzeyler elde edilmekte ve bunların özellikle mikrobiyolojik alandaki uygulamalara olanak sağlayan filtrelerin üretiminde kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Esasında bu yöntemle selülozik lif, 1 mikrondan daha küçük çapa sahip olan lifçiklere bölünmekte, ancak tek tek lifler halinde değil, nano lif tülbendi formunda elde edilmektedir (12).

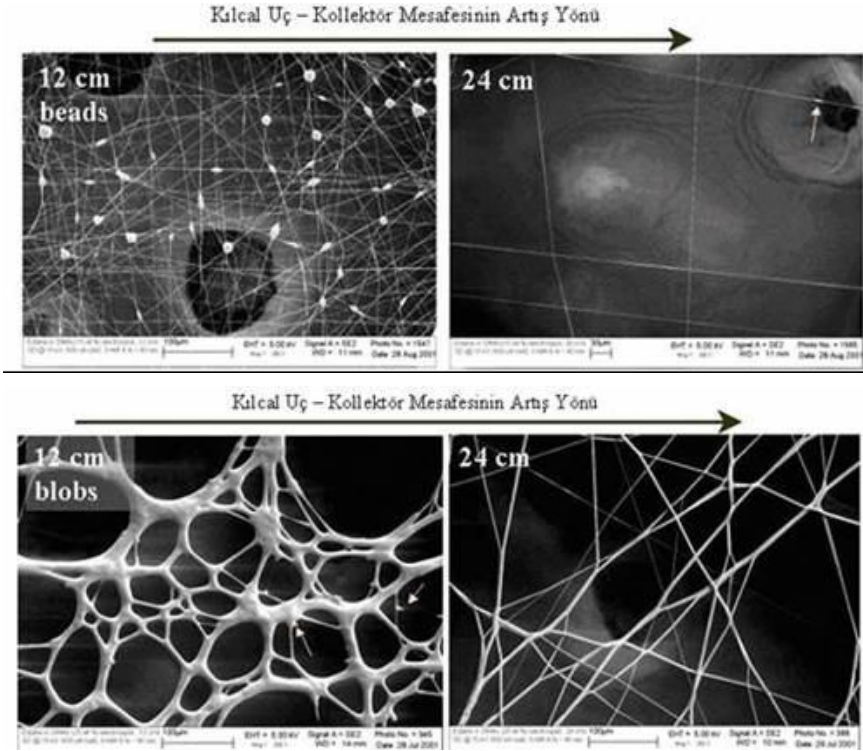
2.5. Electrospinning (Elektro lif çekimi) yöntemi ile nano lif üretimi

1934 yılında Formhals tarafından, elektrostatik kuvvetler kullanılmak suretiyle polimerlerden filament lif üretilmesi işleminin patenti alınmış ve kullanılan bu yöntem "elektrospinning" olarak tanımlanmıştır (13). Elektrospinning yöntemi ile polimer çözeltisi

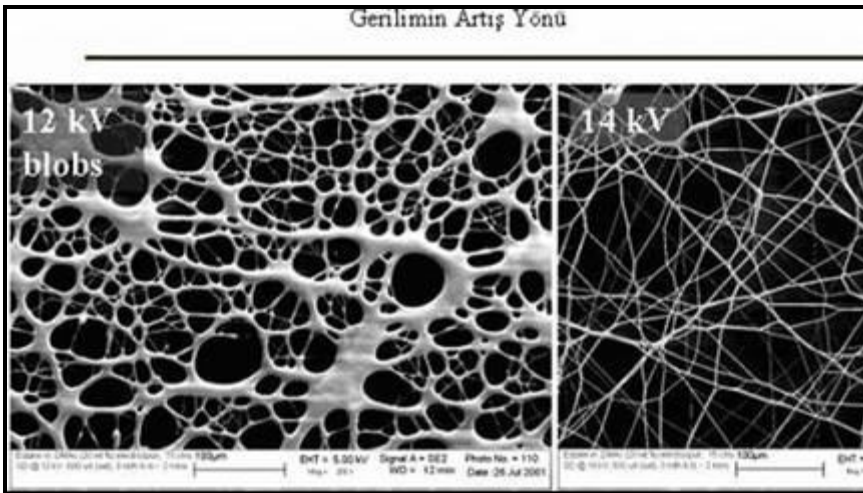
* Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi Sayı 2007/1, sayfa 77'den devam



Şekil 8. Polimer jetinin hareketi süresince izlediği yol



Şekil 9. Kılcal uç-kollektör arasındaki mesafenin, nano liflerin özellikleri üzerine etkisi

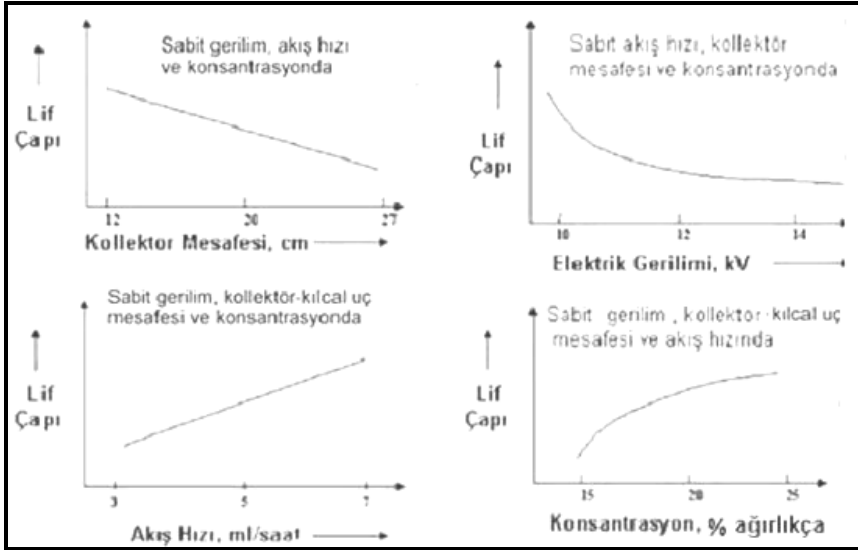


Şekil 10. Uygulanan gerilimin nano liflerin özellikleri etkisi

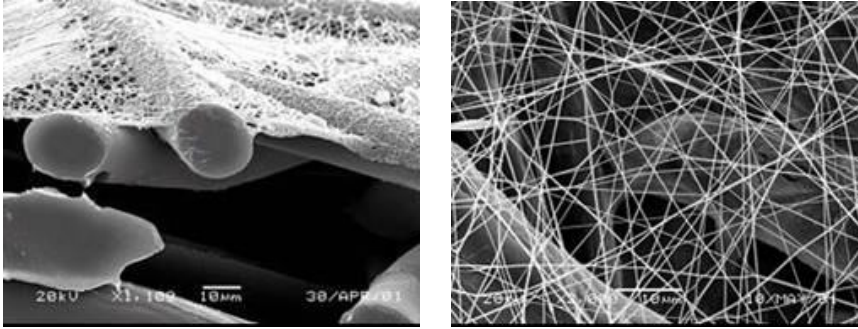
ya da eriyiğinden lif çekiminde, yüksek bir potansiyel gerilim kullanılarak polimer elektriksel olarak yüklenmekte, ince jet düzesinden çıkan polimer jeti, düzenin karşısına yerleştirilmiş olan topraklanmış hedefe doğru akmaktadır. Bu akım sırasında polimer jeti çok ince lifçikler halinde saçılmakta ve bu sayede nano seviyede çapa sahip lifler elde edilebilmektedir. Şekil 6'da electrospinning sistemi görülmektedir (13).

Electrospinning yönteminde, enerji kaynağı ve kollektör (toplayıcı levha) bir uçlarından toprak bağlantılı olduklarından, sistem kapalı devre görünümündedir. Devredeki iki elektrottan biri lif çekim çözeltisi ya da eriyiğinin içine doğru yerleştirilmekte, diğeri ise karşıdaki kollektöre bağlanmaktadır. Tüpün arka kısmına yerleştirilmiş olan bir pompa, cam tüp içerisindeki polimer eriyiği ya da lif çekim çözeltisini, pipet boyunca uç kısma doğru itmektedir. Polimer eriyiğine/çözeltisine verilen elektrik akımı ile elektriksel alan oluşturulmaktadır. Sıvının yüzeyinde bir elektriksel yüklenme meydana getirilmekte ve yüzey gerilimine zıt yönde bir kuvvet oluşmaktadır. Sisteme yüklenen gerilim 30 kV'a kadar çıkabilmektedir. Elektriksel alanın şiddeti arttığında düze ucundaki yarı küresel haldeki sıvı, konik bir şekil oluşturacak şekilde uzamaktadır. Bu konik şekil, literatürde "Taylor Cone" (Taylor Konisi) olarak geçmektedir. Elektriksel kuvvet yüzey gerilimini yendiği anda elektriksel olarak yüklenmiş polimer jeti hızla düzeden dışarıya doğru yönelmekte ve aynı elektriksel yüke sahip partiküllerin birbirini itmesi ilkesinden hareketle de, polimer jeti çok ince lifler halinde ayrılarak metal bir plaka üzerine düşmektedir (13).

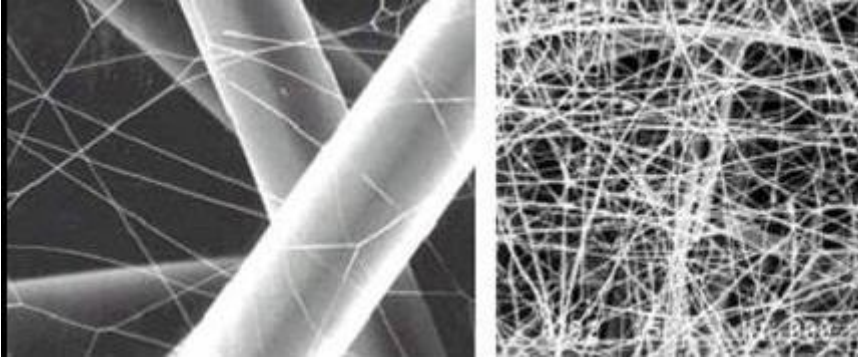
Electrospinning işleminde polimer jeti tamamen yüklü ya da kısmi yüklü hale gelmiş olabilmektedir. Şekil 7'de polimer jeti yüzeyindeki yük dağılımı görülmektedir. Electrospinning işleminde polimer jetinin kısmi yüklenmesi sırasında, polimer jetinden geçen akım şiddeti aşağıda belirtildiği şekilde formüle edilebilmektedir.



Şekil 11. Electrospinning işlem parametrelerinin, lif çapı üzerindeki etkisi



Şekil 12. (a) Spunbond malzeme üzerindeki nano lif tülbeninin kesit görünüşü (b) Hava filtrasyonu için WETLAID selülozik malzeme üzerine uygulanan nano lifler



Şekil 13: Değişik yoğunluklardaki nano lif tülbenleri

$$2\pi u \sigma^\alpha + k\pi r^2 E = I \quad (1)$$

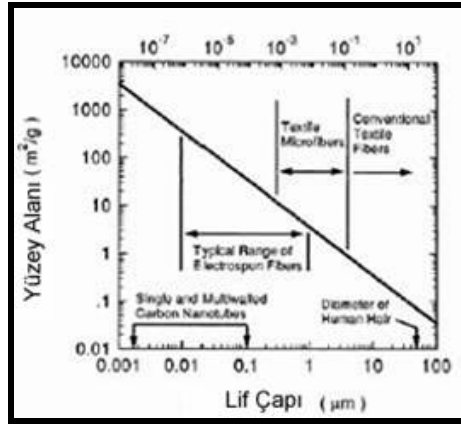
Eşitlikte, k akışkanın iletkenliğini, E uygulanan elektriksel alanı, I polimer jetinden geçen akımı, u polimer jetinin akış hızını, σ yüzey yük yoğunluğunu ve r polimer jetinin yarıçapını ifade etmektedir. α bir yüzey parametresi olup, çözeltiye eklenen tuzun konsantrasyonu ve/veya dielektrik ka-

rakterine bağlı bir değerdir. $\alpha=0$ iken yüzeyde yük yoktur, $\alpha=1$ iken ise polimer jeti, tam yüküdür (14).

Yapılan hesaplamalar ve denemeler neticesinde, yüksek gerilim altında lif üretim hızının, en az sesin havadaki yayılma hızı kadar olduğu tespit edilmiştir (340 m/s). Polimer jeti elektriksel kuvvet etkisiyle hızlanırken viskoz direnci

de giderek artmaktadır ve viskoz direnci elektriksel kuvvete eşit olduğu anda polimer jeti stabil olmayan bir harekete başlamaktadır. Bu durumda, oluşan hafif bir hava türbülansı bile salınımına neden olmaktadır. Şekil 8'da lif M noktasına geldiğinde lifin x eksenindeki hızı sıfırdır ve bu noktada uç kuvvetin etkisi altındadır (viskoz kuvveti, elektriksel kuvvet ve eylemsizlik kuvveti). Viskoz kuvvetinin yönü polimer jetinin hareketine ters yöndedir. Elektriksel kuvvet ve eylemsizlik kuvvetinin bileşkesinin yönü de z eksenidir. Bu da paralel kenar kanunu ile diyagonalin yönünde hareketi gerektirmektedir ve polimer jeti bu kuvvetlerin bileşkesi yönünde hareketine devam etmektedir. Electrospinning yönteminde, bu stabil olmayan hareket, sarkaç hareketine benzemektedir. İşlem sırasında polimer jeti önce hızlanmakta, hız arttıkça hava direnci artmakta, bir müddet sonra ivme sıfıra düşmekte ve sabit hızla hareketine devam etmektedir (14).

Electrospinning yönteminde üretilen nano liflerin özelliklerini: Konsantrasyon, kılcal uç ve metal kollektör arasındaki mesafe, en uç noktadaki potansiyel, akış hızı gibi parametreler etkilemektedir. Örneğin Şekil 9'da görüldüğü gibi ortalama lif çapı ve boncuk büyüklüğü, kılcal uç ile kollektör arasındaki mesafenin artmasıyla azalmaktadır. Ayrıca mesafe azaldıkça lif çapının varyasyonu artmaktadır. Şekil 10'da görüldüğü gibi, sisteme yüklenen gerilimin artmasıyla, lif çapı küçülmektedir. Potansiyel gerilimin artmasıyla polimer jeti daha büyük bir elektrostatik itme kuvveti etkisi altında kalmaktadır ve bu kuvvet polimer jetinin maruz kaldığı çekim gerilmesinin de artmasını sağlamaktadır. Çekim değerinin artması ise lif çapının küçülmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte yüksek gerilim söz konusu olduğunda lif çapının varyasyonu da yüksek olmaktadır. Şekil 11'de işlem parametrelerinin lif çapı üzerindeki etkisi görülmektedir (13). Genel olarak elektrospinning yöntemi ile 40-2000 nm (0,04-2 mikron) çapında lifler üretilebilmektedir (15).



Şekil 14. Lif çapına bağlı olarak birim kütledeki yüzey alanı (18).

Tablo 2. Çeşitli dokusuz yüzey üretiminde kullanılan liflerin çaplarının kıyaslanması

Lif tipi	Lif çapı (mikron)	Lif numarası (denye)
Electrospun nanolifler	0,04-2	0,00002-0,06
Meltblown lifler	2-10	0,03-1
Spunbonded lifler	15-40	1,5-12

Tablo 3. Çeşitli dokusuz yüzey üretiminde kullanılan liflerin birim kütledeki yüzey alanları

Lif tipi	mikron	yüzey alanı/kütle m ² /g
Electrospun nanolif	0,05	80
Electrospun nanolif	0,2	20
Meltblown lif	2,0	2
Spunbonded lif	20	0,2

2.5.1. Electrospinning yöntemi ile üretilen tülbentlerin özellikleri

Electrospinning yöntemi ile üretilen lifler küçük çaplı olmaları sebebiyle, nano lif tülbentinin kalınlığı da oldukça küçüktür. Ancak bu ince tülbentlerin düşük mekanik özellikleri, kullanımlarını sınırlamaktadır. Bunun sonucu olarak da nano lif tülbentleri çeşitli malzemeler üzerine uygulanmaktadır. Zemin malzemeleri, uygun mekanik özellikleri sağlayacak ve nano lif tülbentinin işlevselliklerini arttıracak şekilde seçilmektedirler. Şekil 12'de solda, filtrasyon amaçlı kullanım için spunbond malzeme üzerindeki nano lif tülbentinin kesit görünüşü sunulmaktadır. Sağda ise selülozik malzeme üzerine electrospinning yöntemi ile çekilen nano liflerden üretilmiş bir hava filtresi görülmektedir (15).

Nano lifler: Cam, poliester, poliamid ve selülozik... gibi çok değişik malzemelerle kombine edilerek filtrasyon amacıyla kullanılabilirler. Electrospinning parametrelerini kontrol altında tutarak, değişik filtrasyon özellikleri sağlayabilecek nano lif tülbentleri oluşturulabilir.

Lifler, malzemenin bir tarafına ya da her iki tarafına da yerleştirilebilmektedirler. Şekil 13'te hafif bir nano lif tabakası ve ağır bir nano lif tabakasının karşılaştırılması gösterilmektedir (15).

Electrospinning yöntemi ile üretilen nano lif tülbentleri, polimer maddeden doğrudan tülbent üretimini mümkün kılan dokusuz yüzey üretim teknikleri olan meltblown ve spunbond ile karşılaştırıldığında, her üç yöntemde de işlem: Sıvı fazdaki polimer ile başlamakta ve tek-adım yöntemiyle doğrudan lif ve tülbent elde edilmekte ve elde edilen ürün katkı maddesi, binder ya da reçine içermeyen polimerik liflerden oluşmaktadır. Electrospinning yöntemi ile üretilen nano lifler, meltblowing yöntemi ile üretilen liflerden çap olarak çok daha küçüktürler ve bu liflerden üretilen tülbentler, meltblown ve spunbond tülbentlerine göre daha küçük mikro gözeneklere sahiptirler (15).

Nano lifler yüksek mekanik özelliklere ve iyi esnekliğe sahiptirler. Her ne kadar çapı 3-5 nm olan liflerin üretilebilirliğinden bahsediliyorsa da, 50 nm'

den daha küçük çaptaki lifler üniform olmayan bir yapıya sahip olmaktadır. İnce çapa sahip liflerde, çözgenin buharlaşması ve polimer jet stabilitesinin sağlanamaması, üzerinde çalışılması gereken konulardır (16).

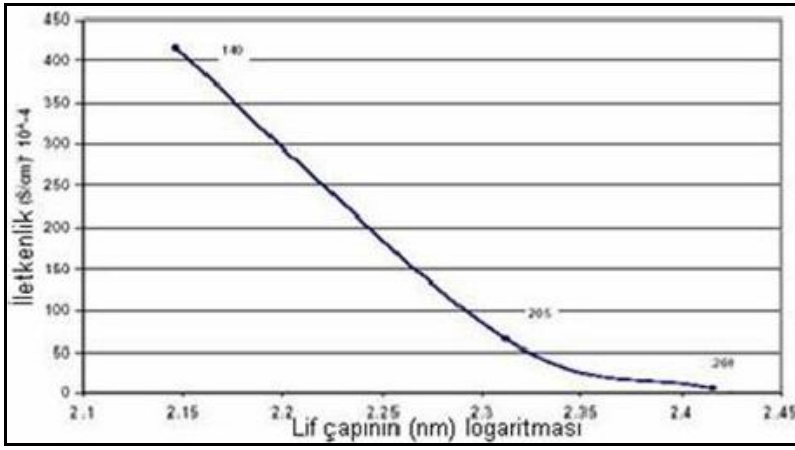
Bu yöntem ile üretilen polimerik, karbon ve seramik nano lifleri; karbon ve diğer nano tüplerle karşılaştırıldıklarında, maliyet ve tek adımda üretimin gerçekleşmesi gibi konularda çeşitli avantajlara sahiptirler. Ayrıca boyutları itibarıyla tıbbi amaçlı kullanıma da uygundur. Bu yöntemle çok çeşitli doğal ve sentetik polimer maddeden nano ve mikro boyutta lifler elde edilebilmektedir (16).

3. NANOLİFLERİN ÖZELLİKLERİ

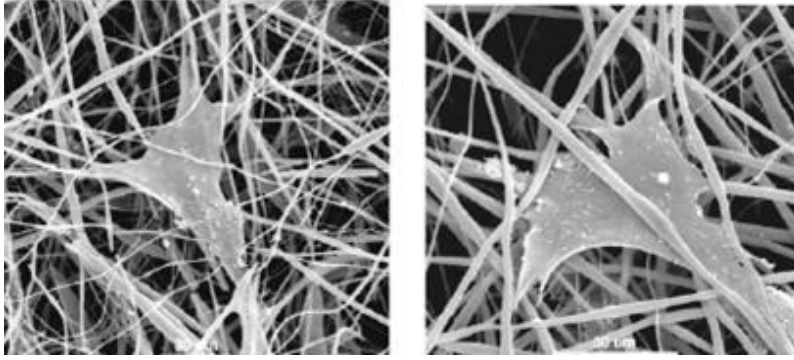
Nano lifler, özel uygulamalara sahip materyallerin geliştirilmesine olanak sağlayan mikro ve nano yapısal özellikleri nedeniyle, son yıllarda giderek önem kazanan bir araştırma konusu haline gelmişlerdir. Büyük yüzey alanları ve küçük gözenek boyutları, nano liflerin önemini artırmaktadır. Electrospinning prosesi ile nano lif üretimi, hem elektrostatik kuvvetlerden, hem de polimerin visko-elastik özelliklerinden etkilenmektedir. Çözelti besleme debisi, uygulanan voltaj, düze-toplayıcı mesafesi, lif çekim ortamı gibi işlem parametreleri ile çözelti konsantrasyonu, viskozite, yüzey gerilimi, iletkenlik ve çözgen buhar basıncı gibi materyal özellikleri, electrospinning yöntemi ile üretilen nano liflerin yapısını ve özelliklerini etkilemektedirler (17).

Nano lifler genellikle lif çekimi sonrasında bir yüzey üzerinde toplanarak dokusuz yüzey haline getirilmektedirler. Alternatif olarak tek tek lif ya da bu liflerin oluşturduğu ipliklerin elde edilebilmesinin de mümkün olduğu belirtilmektedir (18, 19). Sayısız nano liften elde edilen bu ipliklerin çapları mikron seviyesindedir. Bu iplikler, nano liflerin dokuma ve örme yüzeylerde kullanılmasına olanak sağlamaktadırlar (18).

Çeşitli kimyasal ve fiziksel yöntemlerle üretilen bir boyutlu nano yapılarla kıyaslandıklarında, nano lifler oldukça uzundur. Electrospinning kesintisiz



Şekil 15. Lif çapına bağlı olarak iletkenlik değerleri



Şekil 16. Nano lif ağı içerisinde büyüyen kemik hücreleri

bir proses olduğundan elde edilen lif birkaç kilometre uzunluğunda olabilmektedir. Bu uzunluk, geleneksel yöntemlerle üretilen kimyasal liflerinkine benzemektedir. Üretilen lifler doğrudan dokusuz yüzey haline getirilmektedir ve bu gözenekli yüzeyler çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Poliamid 6 nano liflerinden üretilen dokusuz yüzeyler üzerine yapılan bir çalışmada, lif çapına bağlı olarak yüzey alanının 9-15 m²/g, gözenekliliğin % 25-80 ve gözenek boyutunun 2,737-0,167 µm arasında değiştiği tespit edilmiştir (19).

Üç nanometre çapındaki bir nano lifte yaklaşık 40 molekül bulunmakta ve bu moleküllerin yaklaşık yarısı yüzeyde yer almaktadır. Şekil 14'de, lif çapı küçüldükçe birim kütledeki yüzey alanının arttığı görülmektedir (18). Nano liflerin geniş yüzey alanına sahip yapılar oluşturmaları, fonksiyonel grupları, iyonları ve çok çeşitli nano seviyedeki partikülleri tutma veya yayma kapasitelerinin yüksek olmasını sağlamaktadır (18).

Tablo 2'de, electrospinning yöntemi ile üretilen nano lifler ile meltblowing ve spunbond dokusuz yüzey üretim yöntemleri ile elde edilen liflerin çapları kıyaslanmaktadır. Tablo 3'de ise, bu liflerin yüzey alanları verilmektedir (15).

Lif çapı, liflerin iletkenlik özelliklerini de değiştirmektedir. İletken bir lifin boyutları: sistemin elektrik uyarıcıya tepki süresini ve lifin metal kontaklar üzerinden akım taşıyabilme kapasitesini etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda, lif çapı küçüldükçe tepki süresinin de azaldığı görülmüştür. Şekil 15'de PEDT nano liflerinin lif çapına bağlı olarak iletkenlik değeri verilmektedir. Lif çapı küçüldükçe iletkenliğin arttığı belirgin şekilde görülmektedir (18).

Electrospinning prosesi sırasında hızlı bir buharlaşma meydana gelmektedir ve polimer zincirleri oldukça yüksek kayma gerilimlerine maruz kalmaktadırlar. Bu kayma gerilmeleri ve hızlı katılaşma polimer zincirlerinin gerilimsiz denge durumlarına dönmelerini engellemektedir. Sonuç olarak, zincir yerleşimi ve kristalinite, geleneksel yön-

temlerle üretilen liflerden farklı olmaktadır (19).

Nano lif kompozit membranların kullanımı, filtrasyon etkisinde çok yüksek bir artış sağlamaktadır. Koruyucu giysilerde istenen özelliklerin: Yüksek su buharı transferi, artırılmış nefes alabilirlik ve geliştirilmiş toksik kimyasal direnç olduğu bilinmektedir. Electrospinning yöntemi ile üretilmiş yüksek gözenekliliğe sahip membran yüzeyler, su buharı transferine de yardımcı olmaktadır (17).

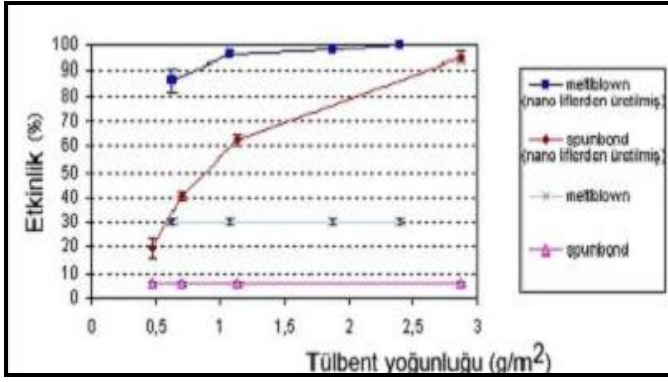
4. NANOLİFLERİN UYGULANMA ALANLARI

4.1. Biyomedikal Uygulamalar:

Nano lifler, doğal dokular oluşmadan önce bu dokuların yerine geçebilecek geçici doku destekleri olarak kullanılabilirler. Örneğin, University of Delaware'deki araştırmacılar, kollajen örümcek ipeği ve denature (doğal özellikleri değiştirilmiş) kollajen gibi doğal polimerlerden üretilen nano liflerle ağlar üretmişlerdir (20). Electrospinning yöntemine göre elde edilen nano lifler sayesinde, geniş yüzey alanı; kontrollü gözeneklilik, yapı ve mekanik özellikler gibi istenen parametreler sağlanabilmektedir (21). Doğal yapıların taklit edilmesinin yanı sıra, nano seviyede biyolojik olarak parçalanabilen liflerin kullanılması ile istenen parçalanma seviyesi de kolaylıkla sağlanabilmektedir.

Nano lifler, kırık kemik, atardamar, kalp ve sinir dokuları için yapay doku destek yapısı olarak kullanılabilirler. Kemik dokusu olarak kullanılacak materyalin vücut hücreleri ile biyolojik uyumu çok önemlidir. Nano liflerin yüksek yüzey/hacim oranı, diğer liflerden daha fazla hücre eklenebilmesini sağlamaktadır. Doku mühendisliği uygulamalarında: poliglaktik asit, poli-ε-kaprolaktam, PLGA, kollajen tip II veya PLA gibi birçok malzeme kullanılabilir (22).

Örneğin, diklormetan çözeltisinden elde edilen PLA nano lifleri, kemik hücreleri için kullanılmaktadır. Bulgular hücrelerin kuvvetli bir şekilde liflere tutunduğunu ve lifler içerisinde büyü-



Şekil 18: Nano lif tabakalarının filtrasyon etkinliği

düğünü göstermiştir. Şekil 16'da, lifler arasında büyüyen kemik hücreleri görülmektedir (22).

Bu amaçla kullanılan nanolifler, electrospinning yöntemine göre elde edilmektedir. Doku destek yapılarında kullanılacak lifler için electrospinning yönteminin tercih edilmesinin avantajları arasında: Doğal dokunun taklit edilmesini sağlayan oldukça ince liflerin elde edilebilmesi, çeşitli polimerlerin, polimer karışımlarının ve inorganik maddeler, çeşitli biyo-moleküller ve hatta canlı hücreler gibi maddelerle karıştırılması sayesinde fonksiyonel olarak aktif nano lif yapılarının oluşturulmasına izin vermesi sayılabilmektedir. Doku destek yapılarının konstrüksiyonu ve kullanılan materyal doku gelişimini ve yapı içerisindeki hücre kültürlerinin tepki davranışlarını oldukça etkilemektedir.

Nano liflerin bir diğer kullanım alanı da, ilaçların veya diğer fonksiyonel maddelerin, nano liflerin veya nano tüplerin içerisine katılmasıdır. Böylece nano lifler, hem ilaç taşıyıcı, hem de ilaç Salınım sistemi olarak görev yapmaktadırlar.

Kontrollü bir ilaç iletimi için, nano liflerin geniş yüzey alanlarının yanı sıra başka avantajları da bulunmaktadır. Örneğin, kapsamlı hazırlık işlemleri içeren kapsülleme işleminden farklı olarak, maddeler direkt olarak electrospinning esnasında verilmektedirler.

Genellikle electrospinning öncesi ilaçlar ve taşıyıcı polimerler karıştırılmaktadır. Karışımdan elde edilen nanolifler, ilaç ve taşıyıcı polimer arasındaki etkileşime bağlı olarak değişik yapılar oluşturabilmektedirler. Çok küçük parçacıklardan oluşan ilaçlar nano liflerin sadece yüzeyine tutunmaktadırlar. Hem

ilaçlar hem de taşıyıcı polimerler ayrı ayrı electrospinning yöntemiyle çekilebiliyorsa üretilen iki farklı nanolif birbirine karıştırılarak bir yüzey elde edilmektedir. Daha çok tercih edilen yöntem, çeşitli formlardaki ilaç ve taşıyıcı karışımlarından tek bir kompozit nano lif elde edilmesidir.

Virginia Commonwealth Üniversitesinin geliştirdiği teknoloji ile, kollajenden yapılmış 3 boyutlu yapı içerisine hücre ekilmektedir. Bu sayede by-pass ameliyatlarındaki klasik uygulama kaldırılmaktadır. Çünkü hastanın kol veya bacaklarından damar alınmamakta ve yeni teknikle klasik yama yönteminden 6 kat daha küçük kan damarları oluşturulup kullanılabilir. Hücre 3-6 haftada gelişmekte ve geliştirilmiş damar dokusu aşılarmaya hazır hale gelmektedir. Kollajen vücudun doğal bir komponentidir. Yüzeyinde hücre gelişimine izin vermektedir. Kollajen electrospinning teknolojisi: Deri, kemik, sinir, kas ve hatta omurga hasarlarının onarımında (tedavisinde) de kullanılabilir (23).

Washington Üniversitesinde geliştirilen bir maske, içerisinde bol miktarda hava tutabilen bir yapıda olup, nanoliflerden üretilmiştir. Böylece uzun süreli kullanımda doğabilecek rahatsızlık hissini ortadan kaldırdığı belirtilmektedir (23).

Ayrıca yara iyileştirmek için electrospinning ile üretilen nanolifler kullanılabilir (21). Yara izini önleyen ve bakteri kalkını oluşturan sargı bezleri yapılabilir (23).

4.2. Nano liflerin diğer uygulamaları

Plastik ve seramik nanoliferi, electrospinning yöntemi ile endüstriyel olarak

üretilebilmektedirler. Nonwoven yüzeylerdeki nanolifler, membran ve hacimli yapılarda yüksek gözeneklilik ve büyük yüzey alanı oluşturmaktadırlar ve nanoliflerden yapılmış membranların tipik kullanım alanları: Bariyer kumaşları, filtreler ve biyomedikal cihazlar olarak sıranabilmektedir. (24). Ticari hava filtresi kartuşlarında (Şekil 17) nanolif kullanılarak filtrasyon etkinliği artırılmaktadır (23).



Şekil 17. Hava filtresi kartuşu

Şekil 18'de farklı tekniklerle üretilen liflerin filtrasyon özellikleri görülmektedir. Spunbond ve meltblown tülbentler, nanolifi yapıda olduklarında, daha etkin filtrasyon özelliklerine sahip olmaktadır. Düşük yoğunluklarda en yüksek filtrasyon ise meltblown yöntemi ile üretilen tülbentlerde sağlanmaktadır (23).

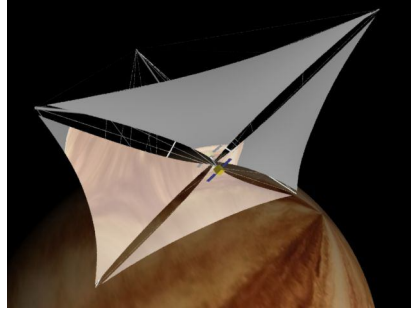
Ayrıca ısı izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılan bazı ürünlerde, hafif kompozitlerde, bandaj ve çocuk bezi gibi ürünlerde de kullanılmaktadırlar (24).

Karbon nanolifler, iletkenlik özelliklerinin de geliştirilmesiyle yeni enerji kaynakları uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Mekanik özellikleri sentetik ve lastik endüstrilerinde uygulama alan bulmalarını sağlamaktadır. Karbon nanolif takviyeli kompozitler, yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve düşük elektriksel direnç göstermektedirler (17).

Kimyasal reaksiyonlardaki katalizör enzimler, yüksek seçicilikleri ve ılımlı reaksiyon şartlarından dolayı kimyasal işlemlerde çok önemlidirler. Nanolifi katalizörler, katalitik nano partiküller ile yer değiştirerek, katalizör geri kazanımındaki sınırları aşmaktadır. Lifli katalizörler, sıvı ve gaz akışına düşük direnç göstermek gibi bazı avantajlara sahiptirler.

Katalizörün materyale sağladığı aktivite büyük aktif yüzey alanına bağlıdır. Gözeneksiz materyaller, nano lif gibi büyük yüzey alanı olan materyalle kaplanarak yüzey alanı artırılabilir (17).

Nano lifler uzay endüstrisinde ve yarı iletken uygulamalarında da kullanılmaktadır. Piezoelektrik polimerler elektrosinning yöntemi ile üretilmektedirler ve mikro hava araçlarının kanatlarında kullanımına yönelik araştırmalar sürmektedir (17). Latince "bas-tırmak-press" anlamına gelen "piezo" ön ekinden türetilen "piezoelektrik" kavramı basitçe, üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması olarak tanımlanabilir (25).



Şekil 19. Güneş yelkeni

Nano liflerden üretilen Solar sail (Güneş Yelkeni), üzerine büyük ve hafif bir ayna yerleştirilmiş bir uzay aracıdır. Aynanın ışığı yansıtması prensibi ile hareket eder. Işığın bir momentumu vardır, ışık bir cisme çarptığı zaman momentumunu bu cisme aktarır, yan-

sıdığı zaman ise, cisim ile aralarında ikinci bir momentum değişimi gerçekleşmektedir. Cisim üzerindeki toplam kuvvet, çarpan ve yansıyan ışığın vektörel toplamına eşit olmakta ve cisim bu kuvvet doğrultusunda hareket etmektedir (23).

6. SONUÇ

Nano teknolojinin önem kazanması ve nano liflerin kullanım alanlarının artması dikkat çekicidir. Özellikle teknik tekstillerin üretiminde nano lif kullanımı yaygınlaşmakla birlikte, nano teknolojinin risk değerlendirmesine de önem verilmesi ve belirsiz olan bu konunun araştırmalarının da göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Rudolf Duraner Firması Teknik Bülteni, Rudolf-Info 8/2004
2. Technical Textiles Technology/ December 2005
3. Commission Of The European Communities, European Commission
4. Health & Consumer Protection Directorate-General
5. Tekstil ve Konfeksiyon 1/2004
6. Hongu.T., Phillips.G.O., Takigami.M., New Millenium Fibers, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, Sayfa: 273-286
7. <http://www.espintechnologies.com/>
8. <http://www.hillsinc.net>
9. <http://www.kodoshi.co.jp/english/nonwoven.html>
10. <http://en.wikipedia.org/wiki/Non-woven>
11. <http://www.cfdreview.com/article.pl?sid=05/02/25/1936213&mode=nested>
12. http://72.14.203.104/search?q=cache:7dGd0IkIWe0J:www.linkgrinder.com/Patents/Microporous_fil_6998058.html+lyocell+Fibrillate+na+no+fiber&hl=tr&gl=tr&ct=clnk&cd=9
13. www.che.vt.edu/.../electrospinning.html
14. He, J.H., Wan, Y.Q., Yu, J.Y., Allometric Scaling and Instability in Electrospinning, International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulations5(3), 2004, 243-252
15. Grafe, T., Graham, K., Polymeric Nanofibers and nanofiber Webs: A New Class of Nonwovens, INTC 2002: International Nonwovens Technical Conference (Joint INDA – TAPPI Conference), Atlanta, Georgia, September 24-26, 2002.
16. http://www.unl.edu/cmra/research/spinning_continuous_fibers.htm
17. Subbiah, T., Bhat, G.S., Tock, R.W., Parameswaran, S., Ramkumar, S.S., Electrospinning of Nanofibers, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 96, 2005, 557-569
18. Ko, F.K., Nanofiber technology: Bridging the Gap between Nano and Macro World,
19. Li, D., Xia, Y., Electrospinning of nanofibers: Reinventing the Wheel, Advanced Materials, 16, No.14, 2004, 1151-1170
20. Zhang, Y., Lim, C.T., Ramakrishna, S., Huang, Z., Recent development of polymer nanofibers for biomedical and biotechnological applications, Journal of Material Science: Materials in Medicine, Vol.16, 2005, 933-946
21. Shanmugasundaram, S., Griswold, K.A., Prestigiacomo, C.J., Arinze, T., Jaffe, M., Applications of electrospinning: Tissue engineering scaffolds and drug delivery system, IEEE, 2004
22. Dersch, R., Steinhart, M., Boudriot, U., Greiner, A., Wendorff, J.H., Nanoprocessing of polymers: application in medicine, sensors, catalysis, photonics, Polymers for Advanced Technologies, vol.16, 2005, 276-282
23. <http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nano/global.ppt>
24. http://www.isnm2006.org/forms/NanoManufacturing_review.pdf
25. <http://stu.inonu.edu.tr/~mustundag/piezo.htm>