

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRO LİF ÇEKİM YÖNTEMİ İLE NANO LİF ÜRETİMİ VE
TAGUCHİ DENEYSEL TASARIMI İLE OPTİMİZASYONU**

Aysun PINARBAŞI

**Danışman
Doç. Dr. Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Aysun PINARBAŞI]

TEZ ONAYI

Aysun PINARBAŞI tarafından hazırlanan "Elektro Lif Çekimi Yöntemi ile Nano Lif Üretimi ve Taguchi Deneysel Tasarımı ile Optimizasyonu" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuŐtur.

Danışman

Doç. Dr. Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL
Süleyman Demirel Üniversitesi



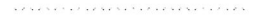
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Abdullah SÜTÇÜ
Isparta Uygulamalı Billimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Aysun PINARBAŞI

A handwritten signature in blue ink, reading "A. Pınarbaşı". The signature is written in a cursive style with a large initial "A" and a long horizontal stroke extending to the right.

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Aysun PINARBAŞI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve kısaltmalar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	10
1.1. Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Nano Lif Üretimi.....	14
1.1.1. Elektro Lif Çekim Yönteminin Esasları	14
1.1.2. Elektro lif çekim yöntemi çeşitleri	16
1.1.2.1. Tek İğneli Elektro Lif Çekimi.....	17
1.1.2.2. Çok İğneli Elektro Lif Çekimi	18
1.1.2.3. İğnesiz Elektro Lif Çekimi.....	18
1.1.3. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler.....	18
1.1.3.1. Materyal parametreleri	19
1.1.3.2. İşlem parametreleri.....	20
1.1.3.3. Çevresel parametreler.....	22
1.2. Deney Tasarımı ve Taguchi Yaklaşımı	22
1.2.1. Deney Tasarımı Kavramı.....	22
1.2.1.1. Tam faktöriyel deney tasarımı	23
1.2.1.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı	24
1.2.2. Deney Tasarımı Tarihçesi.....	25
1.2.3. Deney Tasarımı İlkeleri	25
1.2.3.1. Rassallaştırma	25
1.2.3.2. Tekrarlama	26
1.2.3.3. Bloklama	26
1.2.4. Taguchi Yöntemi	26
2. KAYNAK ÖZETLERİ	31
2.1. PVP ile İlgili Yapılan Çalışmalar	31
2.2. Elektro Lif Çekim Yönteminin Taguchi Yöntemiyle Uygulanması	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM	38
3.1. Materyal.....	38
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Polimer çözeltilerin hazırlanması	41
3.2.2. Çözelti özelliklerinin belirlenmesi.....	42
3.2.2.1. Elektrik özelliklerinin belirlenmesi.....	42
3.2.2.2. Yüzey geriliminin belirlenmesi.....	43
3.2.2.3. Reolojik özelliklerin belirlenmesi	44
3.2.3. Nano lif Üretimi.....	46
3.2.3.1. İğneli elektro lif çekim yöntemi.....	46
3.2.4. Nano lif karakterizasyonu (SEM analizi)	48
3.2.5. Taguchi Deney Tasarımı Analizi.....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	50
4.1. Taguchi Deney Tasarımı Analizi	50
4.1.1. Tasarıma Uygun Faktörler ve Seviyelerinin Belirlenmesi	51
4.1.2. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi.....	51

4.1.3. Faktörlerin Kolonlara Atanması	52
4.2. Çözelti Özelliklerinin Belirlenmesi	53
4.2.1. İletkenlik Ölçüm Sonuçlarına Ait Analiz Bulguları	53
4.2.2. Yüzey gerilimi ölçüm sonuçlarına ait analiz bulguları	54
4.2.3. Viskozite özelliklere ait analiz bulguları	55
4.3. Nano lif Üretimine Ait Bulgular	57
4.3.1. Süreç Analiz Sonuçlarına Ait Bulgular	57
4.4. Nano Lif Esaslı Yüzeylerin SEM ile Karakterizasyonu Bulguları.....	64
4.4.1. Lif çapı analizi bulguları.....	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	85



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRO LİF ÇEKİM YÖNTEMİ İLE NANOLİF ÜRETİMİ VE TAGUCHİ DENEYSEL TASARIMI İLE OPTİMİZASYONU

Aysun PINARBAŞI

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU

Çalışmanın amacı; Taguchi deney tasarımı uygulanarak elektro lif çekimi yöntemi ile en ince ve en üniform Polivinilpirolidon (PVP) esaslı nano liflerin üretimini sağlayacak optimum proses parametrelerinin belirlenmesidir. Tasarlanan deney düzeneğinde elektro lif çekimine etki eden parametrelerden (çözücü çeşidi, polimer konsantrasyonu, voltaj, elektrotlar arası mesafe, çözelti besleme hızı ve nem) yararlanılmıştır.

Taguchi deney tasarımı uygulamasında, amaca uyan faktör ve seviyeler belirlenerek uygun ortogonal dizin seçilmiştir. Taguchi ortogonal dizinleri kullanılarak, hedef değere ulaşmak için yapılan deney sayısı azaltılmış ve daha az deneyle kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini de en aza indirgeyen bir deney tasarımı amaçlanmıştır.

Tezin deneysel çalışmalarında, PVP polimeri kullanılarak farklı konsantrasyonlarda (% 10, 12, 14) hazırlanan çözeltilerin iletkenlik, yüzey gerilimi ve viskozite özellikleri ölçülmüştür. Elektro lif çekimi ile üretilen PVP esaslı nano lifli yüzeylerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmış, Image J görüntü analiz programı kullanılarak ortalama lif çapı, çap üniformite katsayısı hesaplanmış ve SPSS programı ile çap dağılımı histogram eğrileri oluşturulmuştur. Deney sonuçları, varyans analizi kullanılarak MINITAB programında Taguchi yöntemiyle incelenip yorumlanmıştır. Bu tez çalışmasında, Taguchi deney tasarımı ile deney sayısının azaltılmasıyla zaman ve maliyet bakımından kazanç sağlanması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Polivinilpirolidon, elektro lif çekimi, optimizasyon, Taguchi deney tasarımı.

2019, 85 sayfa.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ELECTROSPINNING OF NANOFIBER PRODUCTION AND OPTIMIZATION WITH TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN APPROACH

Aysun PINARBAŞI

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU

The aim of this study is the determination of optimum process parameters which will provide the finest and the most uniform Polyvinylpyrrolidone (PVP) based nanofibers production by electrospinning was applied Taguchi experimental design. For the designed experimental setup, parameters (solvent type, polymer concentration, voltage, distance between the electrodes, solution feed rate and humidity) were used which effect the electrospinning process.

At Taguchi experimental design application, the appropriate orthogonal array was selected by determining the factors and levels to fit the purpose. The experimental design aimed which provides to be reduced the number of experiments and minimized the effect of uncontrollable factors with less experiments to obtain target value by using Taguchi orthogonal arrays.

In the experimental studies of thesis, PVP polymer was used and conductivity, surface tension and viscosity of the solutions prepared with various concentrations (10, 12, 14 wt %) were measured. Scanning Electron Microscope (SEM) images of electrospun PVP based nanofibrous surfaces were obtained, using Image J image analysis program, average fiber diameter and diameter uniformity coefficient were calculated and diameter distribution histogram curves were formed by SPSS program. Experimental results were analyzed and commented by Taguchi method in MINITAB program with variance analysis. In this thesis study, it is predicted to save in terms of time and cost with decreasing the number of experiments by Taguchi experiment design.

Keywords: Polyvinylpyrrolidone, electrospinning, optimization, Taguchi experimental design, nanofiber.

2019, 85 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca her anlamda destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU'na en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araştırmalarım ve akademik hayatımda beni hep destekleyen Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımındaki katkılarından dolayı Hülya KESİCİ GÜLER ve Gürcan GÜLER'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda bana destek olan ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme, sabırla, özveriyle her zaman yanımda oldukları ve bana her zaman sağlamış oldukları desteklerinden dolayı sonsuz minnet, sevgi ve saygılarımı sunuyorum ve yüksek lisans tezimi onlara atfediyorum.

Aysun PINARBAŞI
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Nanoteknoloji kullanım alanları	11
Şekil 1.2. 2000-2018 yılları arasında nanoteknoloji ve elektro lif çekimi ile ilgili yayımlanan makaleler	12
Şekil 1.3. Elektropsun jetinin davranışı	16
Şekil 1.4. Laboratuvar ölçekli elektro lif çekimi kurulumunun şeması	17
Şekil 1.5. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler	19
Şekil 1.6. Artan bir elektrik alanı ile PEO-su çözeltisinin kararlı jet profili: (a) $E=0.47$ - V/cm^{-1} ; (b) $E=0.53$ kV/cm^{-1} ; (c) $E=0.60$ kV/cm^{-1} ; (d) $E=1$ kV/cm^{-1}	21
Şekil 1.7. Bir sistem ya da sürecin işleyiş modeli	23
Şekil 1.8. 1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı.....	25
Şekil 1.9. TY uygulama iş akışı	28
Şekil 1.10. L4(2 ³) ve L99(3 ⁴) ortogonal dizinleri	29
Şekil 3.1. PVP polimerinin kimyasal yapısı	39
Şekil 3.2. Çalışmada uygulanan iş akış planı	40
Şekil 3.3. Çözelti çoklu manyetik karıştırıcı	41
Şekil 3.4. İletkenlik ölçüm cihazı	43
Şekil 3.5. Yüzey gerilimi ölçüm cihazı	44
Şekil 3.6. Reolojik davranış çeşitlerinin sınıflandırılması	45
Şekil 3.7. Viskozite ölçüm cihazı	46
Şekil 3.8. Deneilerde kullanılan iğneli elektro lif çekim sistemi	47
Şekil 3.9. Çalışmadan kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM)	48
Şekil 4.1. PVP polimer çözeltisi iletkenlik sonuçları	54
Şekil 4.2. PVP polimer çözeltisi yüzey gerilimi sonuçları	55
Şekil 4.3. PVP polimer çözeltisi viskozite sonuçları	56
Şekil 4.4. PVP/ETN nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).57	57
Şekil 4.5. PVP/AA nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14)..58	58
Şekil 4.6. PVP/DMF nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).58	58
Şekil 4.7. PVP/KLR nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).59	59
Şekil 4.8. PVP/DMAC nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).....	59
Şekil 4.9. PVP/SU nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14)... 59	59
Şekil 4.10. İşlem parametrelerinin ortalama lif çapı için S/N oranı üzerine etkisi	62
Şekil 4.11. İşlem parametrelerinin lif çapı için ortalamalar üzerine etkisi	63
Şekil 4.12. Ortalama lif çapı ölçüm sonuçları	65
Şekil 4.13. Lif çapı üniformite katsayısı ölçüm sonuçları	65
Şekil 4.14. PVP/ETN çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri.. 66	66
Şekil 4.15. PVP/ETN çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).	67
Şekil 4.16. PVP/AA çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri... 68	68
Şekil 4.17. PVP/AA çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).	69
Şekil 4.18. PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri 70	70
Şekil 4.19. PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).	71
Şekil 4.20. PVP/KLR çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri 72	72

Şekil 4.21. PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).	73
Şekil 4.22. PVP/DMAC çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri	74
Şekil 4.23. PVP/DMAC çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).	75
Şekil 4.24. PVP/SU çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri	76
Şekil 4.25. PVP/SU çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).	77



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Tam faktöriyel deney tasarım tablosu.....	24
Çizelge 2.1. Literatürde yapılan çalışmalar.....	37
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan çözeltiler ve içerikleri.....	42
Çizelge 3.2. İğneli elektro lif çekim yönteminde kullanılan parametreler.....	47
Çizelge 4.1. Faktör ve seviyeleri.....	51
Çizelge 4.2. Toplam serbestlik derecesi.....	51
Çizelge 4.3. Taguchi L18 ortogonal dizin deney tasarımı	52
Çizelge 4.4. Polimer çözeltilerinin iletkenlikleri	53
Çizelge 4.5. Polimer çözeltileri yüzey gerilimleri	54
Çizelge 4.6. Polimer çözeltilerinin viskoziteleri	56
Çizelge 4.7. Lif çapı, üniformite katsayısı ve lif çaplarının standart sapması sonuçları.....	60
Çizelge 4.8. Ölçüm değerleri	61
Çizelge 4.9. S/N oranı için sonuç tablosu	62
Çizelge 4.10. Ortalamalar için sonuç tablosu.....	63
Çizelge 4.11. Lif çapı için ANOVA sonuçları.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

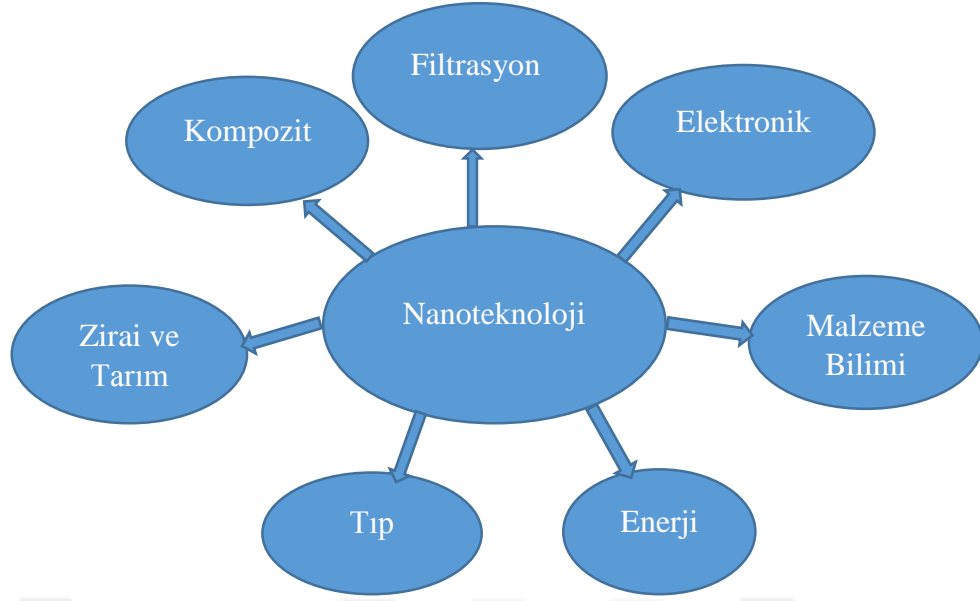
AA	Asetik asit
DMAC	Dimetilasetamid
DMF	Dimetilformamid
DMSO	Dimetil sülfoksit
DT	Deney tasarımı
ETN	Etanol
KLR	Kloroform
MK	Metilen klorit
NMP	N-metil piroolidon
PEMA	Polietil metakrilat
PLA	Polilaktik asit
PMMA	Polimetil metakrilat
PU	Poliüretan
PVDF	Poliviniliden florür
PVP	Polivinilpirolidon
S/N	Sinyal/Gürültü
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TY	Taguchi yöntemi

1. GİRİŞ

İnsanların zaman içerisinde yerleşik hayata geçmesi ve topluluk halinde yaşamasıyla birlikte birçok alanda gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle sanayi devriminden sonra tekstil alanında yaşanan gelişmeler teknolojinin ilerlemesi ve kullanılan malzeme ve üretim yöntemlerinin gelişmesiyle farklı bir boyut kazanmıştır. Günümüzde ise tekstil alanında yapılan faaliyetler değişerek ve gelişerek ilerlemeye devam etmektedir. Özellikle Avrupa’da tekstil ve giyim sanayi üzerine bulunan çok sayıda üretim tesisi zamanla çeşitli sebeplerden dolayı düşük ücretli ülkelere taşınmıştır. Üretim süreçlerinde veya üretilen ürünlerin pazarlarda yer bulması sırasında firmaların birbirleriyle olan yüksek rekabeti söz konusudur. Üretim yerleri genellikle Asya ülkelerine taşınırken Avrupa, moda tasarımı, yenilikler, marka yönetimi, satış ve pazarlama stratejileri gibi konularda öncü olma konumuna geçmiştir. (Erol vd, 2017).

Nano boyutta üretimin sağlanabildiği nanoteknoloji birçok alana uygulanabilir bir teknolojidir. Tekstil sektörü bunlardan biridir. Genel anlamda lifler söz konusu olduklarında, bir lifi nano diye tanımlarken lif çapı göz önünde bulundurulur. Yani nano lifler genel olarak, incelikleri nanometre boyutlarında olan lifler olarak tanımlanabilmektedirler. Ancak bu tanım diğer kullanım alanlarında farklılık gösterebilmektedir. Tekstil malzemelerinde nanoteknoloji uygulamaları temelde farklı fonksiyonlara sahip nano boyutlarda yeni tekstil malzemeleri üretmek (bu ürünler; nano lifler, nanotüpler ve nanokompozitlerdir) ve tekstil materyalinin var olan fonksiyonları ile performanslarını nanoteknoloji yardımı ile geliştirmek (bu özellik lif, iplik veya kumaş yüzeyine farklı özellikler kazandıran nanopartiküller, nanokompozitler vb. Ekleme ve atom ve moleküllerin yerleri ile oynayarak, ileri teknolojilerle kaplama yaparak yeni/fonksiyonel yüzey tabakaları elde etmek) şeklinde olmak üzere 2 başlık altında incelenebilir (Celep ve Koç, 2007). Nanoteknoloji ile son yıllarda artan üretim tekniklerindeki gelişmeler birçok malzemenin nano boyutta üretilmesine imkan sağlamıştır ve istenen birden fazla özelliğe sahip yapıların eldesi mümkün hale gelmiştir (Aykut, 2013).

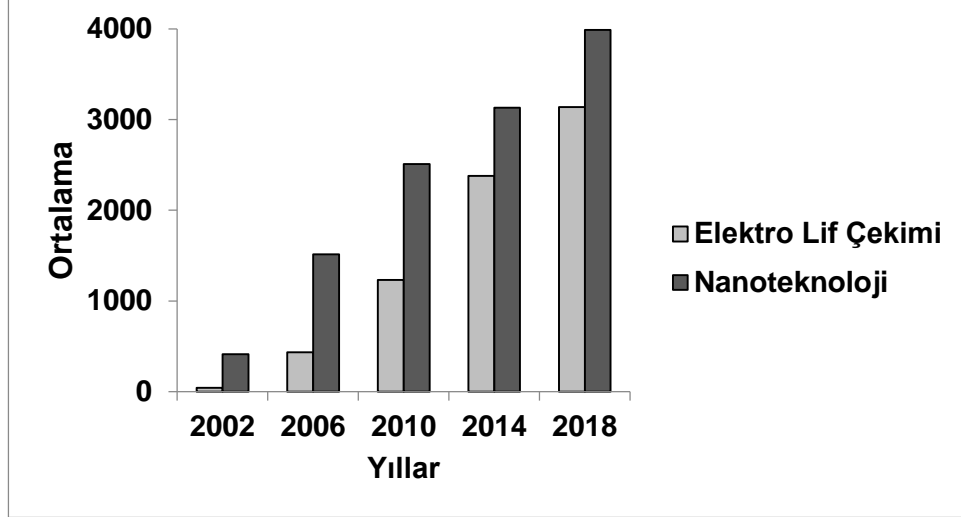
Nanoteknoloji, günümüzde tekstil sektörü dahil olmakla birlikte bir çok alanda kullanılmaktadır. Şekil 1.1’de nanoteknoloji kullanım alanları görülmektedir.



Şekil 1.1. Nanoteknoloji Kullanım Alanları (Özdoğan vd., 2006)

Günümüzde yapılan bilimsel çalışmalara ve sanayi ürünlerine baktığımızda nano lifin elde edilmesi ve ürünlerdeki kullanımı oldukça yenidir ancak her geçen gün kullanım alanı hızla genişlemektedir. Elektro lif çekimi ile nano lif üretiminde; her polimer için uygulanması gereken laboratuvar şartları farklıdır. Materyal ve yöntem bölümünde daha detaylı yer verilecek olan elektro lif çekim yöntemi süreç parametreleri üzerindeki optimum değerlerinin tespiti ve bu optimalite değerlerine göre lif eldesi uzun ve maliyetli süreçlerdir. Bu bakımdan ortaya çıkan gereksinim çalışılan polimerin istenilen özellikleri verecek şekilde üretim koşullarının hızla belirlenmesidir.

2002-2018 yılları arasında literatürde nanoteknoloji (nanotechnology) ve elektro lif çekimi (electrospinning) konularında yayımlanmış makaleler Şekil 1.2’de gösterilmiştir. 2002 yılında toplamda 413 makale yayımlanmış olan nanoteknoloji ile 2018 yılında 3990 adet makale mevcutken, elektro lif çekimi ile ilgili bu sayı 2002 yılında toplamda 43; 2018 yılında ise 3138 adettir (ISI Web of Knowledge; SCI, 2019).



Şekil 1.2. 2000-2018 yılları arasında nanoteknoloji ve elektro lif çekimi ile ilgili yayımlanan makaleler

Kalite kavramı üretilen ürünlerin özelliklerinin iyileştirilmesi, müşteri memnuniyetini yükseltmeye çalışarak ürüne bağlı olarak oluşabilecek memnuniyetsizlikleri en aza indirmek amacıyla yapılacak çalışmaların bir sonucudur. Bir ürünün kalitesini iyileştirmek için, ürün kalitesine etkiyen faktörleri tespit etme ve bu faktörlere uygun seviyelerini belirlemek firmalar için önemlidir. Gün geçtikçe artan rekabet ortamında firmaların devamlılığını sürdürebilmeleri için kaliteli ürün üretme bakımından yapması gereken birtakım çalışmalar vardır. Ürün üzerindeki kaliteyi artırmak ise zaman ve bütçe gerektirir. Bu nedenle kalite çok açık ve kesin bir şekilde tanımlanamayan bir kavram olmakla birlikte her firmanın kendine göre bir kalite politikası vardır (Aktan, 2012). Kalite kavramının tarihsel gelişimini sırasıyla; muayene, kalite kontrol, kalite güvencesi, toplam kalite şeklinde sürdürmüştür. Ayrıca kaliteyi etkileyen faktörler; pazar, para, yönetim, insan, motivasyon, malzeme, makine ve teçhizat olarak ele alınmıştır (Gönültaş, 2002).

Laboratuvar şartlarındaki araştırma-geliştirme amacıyla her deney deneyi etkileyen birçok parametreye sahiptir. Bunlar deney sonuçlarını doğrudan etkileyebilen kontrol edilebilir veya kontrol edilemeyen faktörlerdir. Deneylerde en iyi sonuçların elde edilebilmesi için kontrol edilebilen faktörlerin uygun kombinasyonlarının uygun seviyelerde yapılması ve ayrıca kontrol edilemeyen faktörlerinde dikkate alınması gerekir. Ancak, deney sonunda her faktörün sistem üzerindeki etkilerini tespit etmek faktörler arası etkileşimin göz ardı edilmesine neden olur. Oysaki deney

çalışmalarında faktörlerin birbirlerini etkilemesi mümkündür. Bunun yanında, tüm kombinasyonların tek tek uygulanması ise yüksek maliyet ve zaman gerektirir. Hem deneyleri gerçekleştirmek hem de sonuçları değerlendirmek, analiz etmek üzere uygun istatistiksel yöntemleri kullanma söz konusudur (Duduhan, 2013).

Deney tasarımı (DT) kavramı özellikle yeni ürün tasarımı, üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve süreç iyileştirme gibi konularda kullanılan önemli bir yaklaşımdır. DT tekniklerinde kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerinin en küçüklendiği süreçleri tasarlamak mümkündür. DT uygulamalarında Taguchi yöntemi (TY) en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

Bir en iyileme çalışması olarak literatüre katkı sağlayacak olan bu tez çalışması kapsamında nano lif üretimini gerçekleştirmek üzere elektro lif çekim yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak nano lif üretimine etki eden faktörleri belirlemek ve faktörleri kontrol etmek açısından uygun faktör seviyeleri belirlemek önemlidir (Deitzel vd, 2001). Belirlenen bu faktör ve seviyelerine göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler tam faktöriyel DT yerine deney maliyetlerini ve sayısını azaltmak üzere geliştirilmiş olan Taguchi ortogonal tasarımlarından uygun olanı seçilerek deneyler bu tasarıma göre yapılmıştır. Taguchi yönteminde geliştirilen ortogonal dizinlerde; belirlenen faktör ve seviyelerine göre yapılan toplam deney sayısını azaltarak aynı etkinlikte sonuca ulaştırmaktadır (Karna et al., 2012). Bu sayede toplam deney maliyetinden ve tüm deneyleri gerçekleştirmek için gerekli olan toplam zamandan tasarruf yapılmış olmaktadır. Bu tez kapsamında belirlenen konu çerçevesinde yapılacak deneylerde kullanılacak polimer olan Polivinilpirolidon (PVP) polimeri biyoyumlu bir polimer olduğundan tekstil alanında özellikle medikal tekstillerde kendine geniş bir yer bulmaktadır. Elektro lif çekim yöntemiyle üretilen nano ve mikro boyutlardaki liflerin oluşumunu sağlayan birtakım süreç parametrelerinin yerine getirilmesi gerekmektedir. Materyal ve yöntem bölümünde detaylıca anlatılacak olan bu yöntem elektro lif çekim yöntemidir. Elektro lif çekim yöntemi tekstildeki nanoteknoloji uygulamalarında tekstil ürünlerinde performans artırma ve yeni fonksiyonlar kazandırmayı amaçlayan yöntemlerden biridir. Elektro lif çekiminde nano lif üretmede sağlanması gereken bu parametrelerin ancak uygunluğu gerçekleştirildiği takdirde nano lif üretimi sağlanmaktadır. Bundan

dolayı bu çalışmada nano lif üretim sürecindeki parametrelerin seçilen polimer üzerindeki en uygun (optimum) değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

PVP polimeri elektro lif çekim yöntemi ile TY'ye göre seçilmiş uygun ortogonal dizide yapılan deneyler sonucunda minimum lif çapı ve en yüksek üniformite sağladığı koşullar tespit edilmesinin yanı sıra lif çapı morfolojisi de dikkate alınmıştır. Lif üretim sürecine ait parametreler olarak çözücü cinsi, polimer konsantrasyonu, voltaj, elektrotlar arası mesafe, besleme hızı, nem olmak üzere 6 faktör ele alınmıştır. Faktörlerden; 1 faktör 6 seviyeli, diğer 5 faktör ise 3'er seviyelidir. Toplam faktör sayısı ve seviyelerine göre yapılması muhtemel tam faktöriyel DT düzeneği $((3^5)+(6^1))= 1458$ deney) yerine Taguchi L18 karışık faktörlü ortogonal dizisine göre 18 deney yapılmıştır ve bu sayede azalan deney sayısı ile harcanan zaman ve maliyeti en aza indirilmiştir.

1.1. Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Nano Lif Üretimi

Elektro lif çekim (electrospinning) yöntemi “elektrik alan kuvvetinin sıvılara olan etkisi” ne dayanan nano lif üretiminde en yaygın şekilde kullanılan yöntemdir. Elektro lif çekimi kavramı ilk olarak 1934 yılında Formhals tarafından elektrik alan kuvveti kullanılarak polimerden filament lif üretme işleminin patenti ile ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde nano lifler elektrostatik kuvvet kullanılarak polimer çözeltisi veya lif eriyiğinden lif eldesi şeklinde üretilebilmektedir (Özdoğan vd., 2006). Elektro lif çekim yönteminde lif çapı ele alındığında; elektrospun lifinin çapı yaklaşık 300 nm'dir. Buna karşılık, insan saçı çapı genellikle yaklaşık 18-180 μ m'dir (Burger vd., 2006).

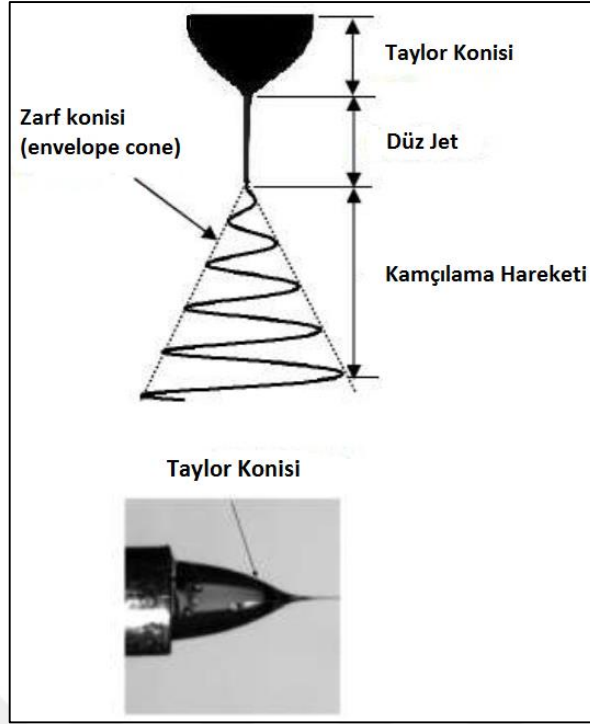
1.1.1. Elektro Lif Çekim Yönteminin Esasları

Elektro lif çekiminin temel mekanizmasına bakmak gerekirse, mevcut olan sistemi anlayarak sistemi geliştirmek mümkün hale gelecektir. Bu yöntemde, uygun bir çözücüde çözünmüş veya ısı ile eritilmiş polimer çözeltisi bir ucu kapalı ve diğer ucu açık olan ve ucunda şırınga şeklinde aparat bulunan kaba yerleştirilir. Şırınga, enjektör pompasına yerleştirilerek sabit basınç altında belirli bir hızda (örn. 0,7 ml/s) sıvı akışı sağlanır. Şırınga ucundaki iğne ve iğneden belirli bir mesafe uzaklıkta (örn.

15 cm) bulunan toplayıcı elektrot zıt kutuplar halinde yüklenir. Burada polimer güç kaynağından belirli bir miktarda (örn. 20 kV) voltaj uygulanarak yüksek bir potansiyel gerilim ile polimer elektriksel olarak yüklenip iğne ucu ve toplayıcı elektrot arasında elektriksel alan oluşturulur. Yüksek voltaj kaynağından uygulanan gerilim, yeterli değere ulaştığında beslenen polimer çözeltisi damlasından toplayıcıya doğru fıskiye (sprey) oluşturmaktadır. Şırınga ucundan çıkan polimer jeti, düzenin karşısına yerleştirilmiş olan topraklanmış toplayıcı levhaya doğru akmaktadır. Bu akım sırasında polimer jeti çok ince lifçikler halinde saçılmakta ve bu sayede nano seviyede çapa sahip lifler elde edilebilmektedir.

Elektriksel alan içerisindeki iğne ucunda bulunan polimer çözeltisi yüksek voltaj ile çözelti damlası ile toplayıcı elektrot arasında oluşan gerilim farkından dolayı şırınga ucundaki polimer çözelti damlası şekil değişimiyle koni şeklinde bir yapı oluşturur. Sisteme yüklenen gerilim 30 kV'a kadar çıkabilmektedir. Elektriksel voltaj uygulanan çözelti damlasının bu şekil değiştirme durumu ilk kez Taylor tarafından 1960'lı yıllarda bulunmuştur. elektrostatik kuvvetler ile yüzey gerilimi dengelendiğinde iğne ucundaki damla "Taylor Konisi" adı verilen konik bir yapı alır. Kararlı haldeyken bu koninin tepe açısı $98,6^\circ$ dir (yarı açısı $49,3^\circ$). Taylor; en büyük kararsızlık halinin elde edildiği kritik gerilim değerinin denklemini de 1969 yılında geliştirmiştir (Çaydamlı, 2012).

Uygulanan voltajın etkisi ile meydana gelen elektriksel kuvvet, polimer çözeltisinin yüzey gerilimini yendiği anda "Taylor Cone" (Taylor Konisi) yapısı hızlı bir şekilde elektrik yüklü çözelti fıskiyesi haline gelir. Pompadan düzenli olarak beslenen polimer çözelti ile çözelti fıskiyesi püskürmeye devam eder. Elektro lif çekim yönteminde kullanılan polimer çözeltilerinde çözücünün uçması ile polimer lifleri katılaştır ve katılaştıran polimer çözeltisi toplayıcıya biriktirilirken toplayıcı üzerinde kuru veya yarı kuru nano lifler halinde toplanır. Toplayıcı levha üzerinde oluşan ağ şeklindeki yüzeyde çapları 10-1000 nm aralığında değişen çaplara sahip lifler elde edilir (Cengiz-Çalhoğlu, 2011, Yalçınkaya, 2012, Süpüren vd., 2007). Şekil 1.3'te elektro lif çekiminde oluşan Taylor konisi yapısı ve jet hareketleri görülmektedir.



Şekil 1.3. Elektrospun jetinin davranışı (Karakaş, 2014)

Elektro çekim yöntemi ile ilgili yapılan bilimsel yayınların önemli bir bölümünü; proses, çözelti çeşitliliği ve çevre ile ilgili parametrelerin jet oluşumu, lif çapı ve yüzey özelliklerine etkileri üzerine yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Pek çok çalışma ise, poliüretan (PU), kollajen, kitin, kitosan/kollajen, selüloz, poli(vinil alkol), poli(metil metakrilat), poliamid 6 ve diğer nano lif üretme tekniklerinde kullanılabilen tüm polimerlerin elektro çekim için uygun olduğunu göstermiştir. Her bir lifin kendine özgü lif oluşumunu etkileyen farklı özellikleri ve gereklilikleri varolduğu gibi lif çekim parametreleri sonucu ortaya çıkan özellikleride farklılık göstermektedir. Literatürde elektro çekim yöntemi ile nano lif üretimi ve bunların uygulama alanları hakkında genel çalışmalar olmasının yanı sıra, spesifik uygulama alanlarına yönelik ayrıntılı çalışmalar da mevcuttur. Yapılan çalışmalar, nano liflerin filtrasyon, kompozit ve biyomedikal gibi uygulama alanlarında kullanımının mümkün ve avantajlı olduğunu göstermektedir (Üstündağ ve Karaca, 2016).

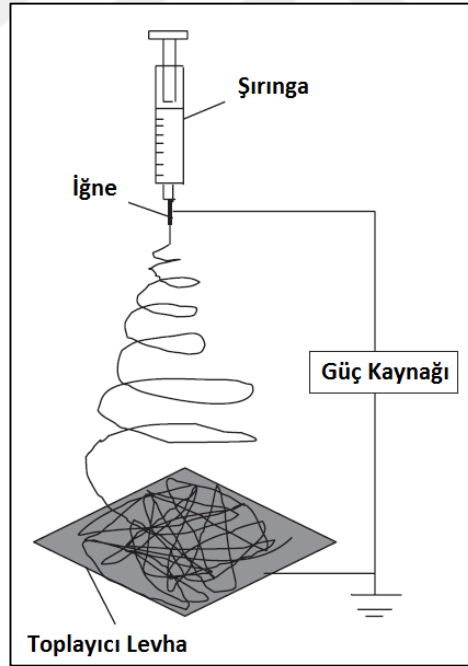
1.1.2. Elektro lif çekim yöntemi çeşitleri

Günümüzde polimer esaslı malzemelerin elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi tek iğneli, çok iğneli ve iğnesiz yapılar olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Elektro lif çekim yöntemi, üretim kapasitesinin düşük olması, iğneli sistemlerde iğne tıkanması gibi problemlerin oluşması yanısıra, kullanılabilir polimer çeşitliliğinin yüksek olması, oluşturulan düzeneğin basit olması ve lif çapının ayarlanabilir olması gibi avantajları mevcuttur (Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

1.1.2.1. Tek İğneli Elektro Lif Çekimi

Tek iğneli elektro lif çekimi yönteminde tek iğne başlığı mevcut olup, oluşan tek koniden tek spray elde edilir. Püskürme; iğne ucundan dışarı çıkan polimer çözelti damlası elektrik alanı içerisine girdiği zaman başlar. Tek iğneli lif üretim yöntemi nano lif üretiminde konvansiyonel sistemlerden biri olup polimerik yapıdaki çözeltileri elektro statik kuvvetlerin etkisiyle nano lif esaslı yüzey üretimi gerçekleştirmek kolay ve zahmetsizdir. Ancak bu yöntem seri üretime uygun olmaması nedeniyle laboratuvar şartlarında araştırma amaçlı kullanılmaktadır. Üretim kapasitesi düşüktür. Şekil 1.4'te elektrolif çekimi sistemi görülmektedir.



Şekil 1.4. Laboratuvar ölçekli elektro lif çekimi kurulumunun şeması (Shi et al., 2015)

Tek iğneli elektro lif çekimi süreci yüklü jetin tek eksenli uzanma hareketine bağlıdır. Yüklenen jetin gerilmesi, polimerik çözeltinin konsantrasyonunun değiştirilmesinden önemli ölçüde etkilenir. Örneğin, polimerik çözeltinin

konsantrasyonu düşük olduğunda, uygulanan elektrik alanı ve yüzey gerilimi dolaşmış polimer zincirlerinin toplayıcıya ulaşmadan önce parçalara ayrılmasına neden olur (Haider et al., 2018). Polimer konsantrasyonu arttıkça, elde edilen nano lif çapları büyür (Huang et al., 2003).

1.1.2.2. Çok İğneli Elektro Lif Çekimi

Elektro lif çekimi yönteminde iğne sayısı, iğne çapı, iğne şekli gibi parametreler üzerinde yapılan gelişmeler ile nano lif üretiminde verimliliği arttırmak amacıyla tasarlanmış sistemlerdir (Yalçınkaya, 2012).

1.1.2.3. İğnesiz Elektro Lif Çekimi

Günümüzde iğnesiz elektro lif çekim sistemleri, yüksek kapasiteli üretime olanak sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde düzenek üzerinde herhangi bir iğne ve şırınga kullanılmadan polimer çözeltisi üzerinde çoklu spreyle elde edilmesine göre nano lif üretimi gerçekleştirilmeye yönelik tasarlanmıştır (Yalçınkaya, 2012).

1.1.3. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler

Elektro lif çekimi düzeneği genel anlamda basit bir sistem olsa da lif üretim sürecini etkileyen birçok parametre mevcuttur. Literatüre bakıldığında bunların birçoğu sistem geliştirme ile ilgilidir, aynı zamanda lif çapı ve morfolojisini etkileyen işlem parametreleriyle ilgili çalışmalarda mevcuttur. Elektro lif çekim işlemini etkileyen başlıca üç farklı parametre vardır. Bunlar; materyal parametreleri, işlem parametreleri ve çevresel parametrelerdir. Materyal parametreleri; polimer ve çözücü özellikleri ve toplayıcı şekline bağlıdır. İşlem parametreleri ise lif çekimi esnasında uygulanan voltaj ya da elektrotlar arasındaki mesafe gibi üretim süreci üzerinde müdahalede bulunabildiğimiz parametrelerdir. Çevresel şartlar ise nem ve sıcaklık örnek olarak verilebilir. Elektro lif çekim işlemini etkileyen başlıca etkenler aşağıdaki Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler

Söz konusu parametrelerde meydana gelen değişiklikler doğrudan lif çekim işlemini ve dolaylı olarak lif kalitesini etkilemektedir.

1.1.3.1. Materyal parametreleri

Polimer Çözeltisi

Elektro lif çekimi yöntemlerinde; material parametrelerinden olan polimer çözeltisi; polimer cinsi, çözücü cinsi, çözelti konsantrasyonu, çözelti içerisine eklenen katkı malzemeleri (tuz, yüzey aktif madde vb.), çözeltinin hazırlanışı hususlarını içermektedir. Bu özelliklerin her biri son ürüne etki eden önemli faktörlerdendir.

Çözücünün seçimi, pürüzsüz ve boncuksuz elektrospun nano liflerin üretilmesinde önemlidir. Genellikle çözücü seçmeden önce iki noktaya dikkat edilmesi gerekir.

Bunlar:

- Elektro lif çekimi işlemi için tercih edilen çözücüler, tamamen çözünür olan polimerlere sahip olmalıdır.
- İkinci olarak, çözücü ılımlı bir kaynama noktasına sahip olmalıdır. Kaynama noktası bir çözücünün uçuculuğu hakkında bir fikir verir. Genel olarak uçucu çözücüler, yüksek buharlaşma hızları sayesinde, iğnenin ucundan toplayıcıya kadar

ulaşmaları sırasında nano liflerden kolayca buharlaşaraktadır. Bu durumdan dolayı uğuculuğu yksek ęözucüler tercih edilir (Haider et al., 2018).

Toplayıcı Tipi

İğne ucu ve liflerin üzerinde toplanacağı levha farklı elektrot düzenlemeleri kullanılarak sağlanır. Elektro lif ęekimi ilk aşamalarında araştırmacılar elektrot olarak bir iğne ve düz bir kolektör plakası kullanmışlardır. Ancak elektro lif ęekimi teknolojisinin gelişimi ile biręok elektrot düzenlemesi, elektrik alanını değiştirmenin ve istenen nano lif morfolojilerinin elde edilmesini sağlayacak şekilde gelişim göstermiştir.

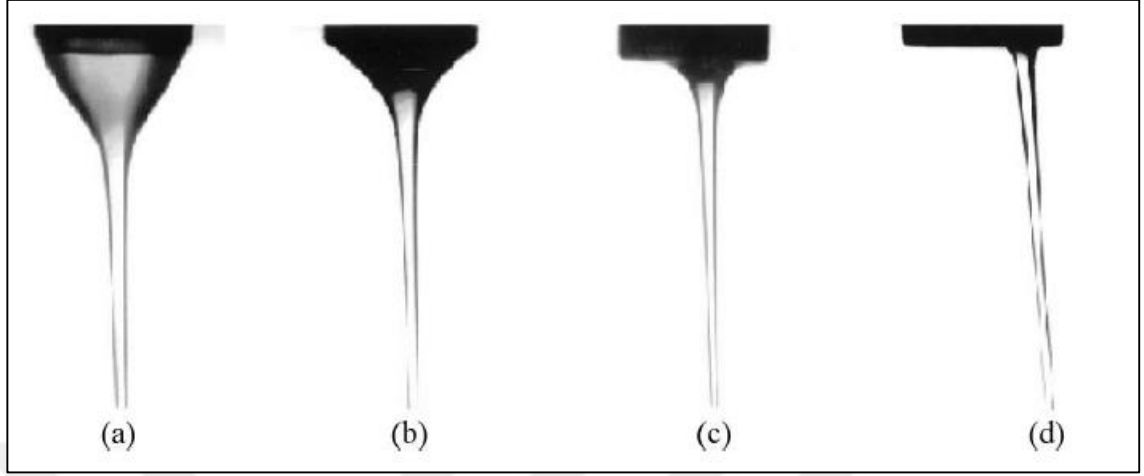
Çoğu elektro lif ęekim düzeninde, toplayıcı levha alüminyum veya bakır gibi iletken malzemelerden yapılmış, iki elektrot arasında içsel bir sabit potansiyel farkı üretmek için elektriksel olarak topraklanmıştır. İletken olmayan bir malzeme toplayıcı olarak kullanıldığında, elektro lif ęekim jeti üzerindeki yükler levha üzerinde hızlı bir şekilde birikir ve bu hızlı birikme levha üzerinde daha az elyafın birikmesine anlamına gelir. Bu etki, iletken bir kollektör plakasından daha fazla lif biriktirildiği için hedef üzerinde biriken yüklerin artan itici kuvvetlerinden kaynaklanır (Angammana et al., 2016).

1.1.3.2. İşlem parametreleri

Uygulanan Voltaj

Elektrik alanını değiştirmek için kullanılan en önemli parametrelerden biri iki elektrot arasında uygulanan voltajdır. Uygulanan voltaj lif ęapı aralığını değiştirmektedir (Gemci vd., 2011). Genel olarak iğne ve toplayıcı levha arasında, jetin Taylor konisinden başlamasını sağlamak için 6 kV'dan daha fazla pozitif veya negatif voltaj uygulamak gerekir. Bununla birlikte, diğer işlem koşullarına ve ęözüm parametrelerine bağlı olarak, daha yüksek bir voltaj gerekli olabilir. Uygulanan voltaj daha yüksekse, püskürtmenin daha hızlanmasına neden olacak ve iğnenin ucundan daha fazla ęözelti ęekilecektir. şekil 1.6'da jet başlangıcı ile arttırılmış bir elektrik alanı içindeki değişim görölmektedir. şekilde göröldüğü gibi kritik bir elektrik

alanında (veya voltajda) Taylor konisi artık gözlenmez ve jet doğrudan ağızdan yayılıyor gibi görünmektedir (durum d).



Şekil 1.6. Artan bir elektrik alanı ile PEO-su çözeltisinin kararlı jet profili: (a) $E=0.47 \text{ V/cm}^{-1}$; (b) $E=0.53 \text{ kV/cm}^{-1}$; (c) $E=0.60 \text{ kV/cm}^{-1}$; (d) $E=1 \text{ kV/cm}^{-1}$ (Angamma et al., 2016)

Polimer Çözeltisi Besleme Hızı

Pompa tarafından şırıngaya doldurulan polimer çözeltisi oranına besleme hızı denmektedir. Devamlı lif oluşumu ve düzenli yüzey elde edebilmek için besleme hızı iğne ucundan çıkan çözelti oranına eşit olmalıdır. Aksi takdirde düşük besleme hızı ile elektro lif çekimi aralıklı ve kesikli püskürme şeklindedir. Besleme hızı yüksek olduğunda ise çözelti damlaması, büyük lif çapı ve lif üstünde boncuklu yapı meydana getirir ve çözelti besleme hızı arttıkça, yük yoğunluğu azalır (Shi et al., 2015).

Elektrotlar Arası Mesafe

İğne ucu ya da beslenen polimer çözeltisi aparatından toplayıcı levhaya kadar olan uzaklık elektrotlar arası mesafe olarak tanımlanır ve nano liflerin elektrotlar arasındaki mesafeyi kat ederken geçen süre içerisinde toplayıcıya ulaşmadan katılaşması gerekmektedir. Diğer parametrelerin sabit kaldığı durumda elektrotlar arasındaki mesafenin artmasıyla lif çapını azaltmaktadır. Ancak diğer parametrelere bağlı olarak da lif çapını arttırabilmektedir. Bunun yanında, elektrotlar arası

mesafenin çok yakın tutulması durumu toplayıcı elektrot üzerinde ıslak liflerin oluşmasına neden olabilmektedir.

1.1.3.3. Çevresel parametreler

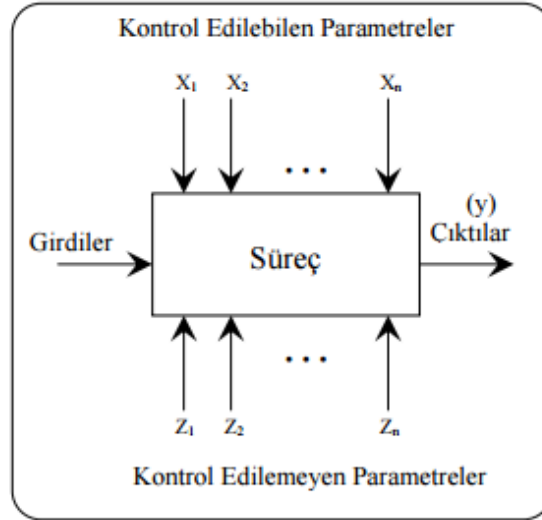
Çevresel koşullar, elektro lif çekimi yönteminde işlem parametrelerinin yanı sıra şimdiye kadar en az çalışılan parametrelerden biri olsa da lif çekilebilirliği ve lif özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bağlı nem ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin nano liflerin çapını ve morfolojisini etkilediği bildirilmiştir. Nem, yüklü jetin katılma işlemini kontrol ederek nano elyafların çapında değişikliklere neden olmaktadır. Bununla birlikte bu durum polimerin kimyasal yapısına da bağlıdır (Haider et al., 2018).

1.2. Deney Tasarımı ve Taguchi Yaklaşımı

1.2.1. Deney Tasarımı Kavramı

DT, bir süreçte bulunan girdiler üzerinde yapılan değişiklik ile cevap üzerindeki etkilerin gözlenmesi sonucunda elde edilen verilerin analiz ve yorumlanmasıdır. Farklı faktörler ile onların etkilediği işlem ve işlem çıktıları arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan yapısal ve organize bir yöntemdir (Özdemir, 2018; Üstündağ, 2018). Literatürde bir deney aynı zamanda bir testtir. Deneyin planlaması sırasında bir kontrol listesinin oluşturulması gereklidir. Yapılacak deneylerde uygulanan adımlar birbiriyle bağlantılıdır ve gerekirse bir önceki adıma dönülüp revize edilebilir.

DT, süreç en iyilemede, süreç değişkenlerinin tanımlanmasında ve süreçteki değişkenliğin azaltılmasında önemli bir yöntemdir. Bir sistemin veya sürecin genel modeli Şekil 1.7'de X_1, X_2, \dots, X_n kontrol edilebilen parametreler ve Z_1, Z_2, \dots, Z_n ise kontrol edilemeyen parametrelerdir.



Şekil 1.7. Bir sistem ya da sürecin işleyiş modeli (Gökçe ve Taşgetiren, 2009)

Genel olarak D.T. dört maddede incelenmektedir.

1. Etkileri arasındaki gerçek farkların araştırılması istenen faktörler ve seviyelerinin belirlenmesi.
2. Deneyde her faktör için yapılacak tekrar sayısına karar verilmesi.
3. Veri analizinde kullanılacak tekniklerin belirlenmesi.
4. Belirlenen DT ile elde edilen deneysel veri sonuçlarının yorumlanması ve incelenmesi (Duduhan, 2009).

Klasik yöntemlerin yetersizliği, DT’de istatistiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilmiştir. İstatistiksel deney tasarımında faktöriyel deney tasarımları yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Tam faktöriyel
2. Kesirli faktöriyel

1.2.1.1. Tam faktöriyel deney tasarımı

En az iki veya daha fazla parametre ve bu parametrelere ait en az iki veya daha seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur. Çizelge 3’te örnek bir deney modeli verilmiştir. Bu deney modeline göre 3 adet parametre bulunmaktadır. Her bir parametrenin 2 adet seviyesi bulunmaktadır. Bu durumda her bir parametre ve seviye kombinasyonu denendiğinde

toplam 8 adet deney yapılmalıdır. Aynı şekilde 4 parametrelili bir deneyde her bir parametre 3 seviyeye sahipse $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ adet deney yapılması gerekmektedir.

Çizelge 1.1. Tam faktöriyel deney tasarım tablosu

Deney Sayısı	Parametre ve Seviyeleri			Sonuç
	P_1	P_2	P_3	
1	1	1	1	S_1
2	1	1	2	S_2
3	1	2	2	S_3
4	1	2	1	S_4
5	2	1	1	S_5
6	2	1	2	S_6
7	2	2	1	S_7
8	2	2	2	S_8

Çizelge 1.1’de P_1 , P_2 ve P_3 parametreleri, 1-2 parametrelere ait seviyeleri göstermektedir. Her bir deneyin sonucu S_n olarak deney satırı sonuna yerleştirilmiştir. Tam faktöriyel DT istatistiksel metotlar ile birleştirildiğinde analiz aşamasında araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

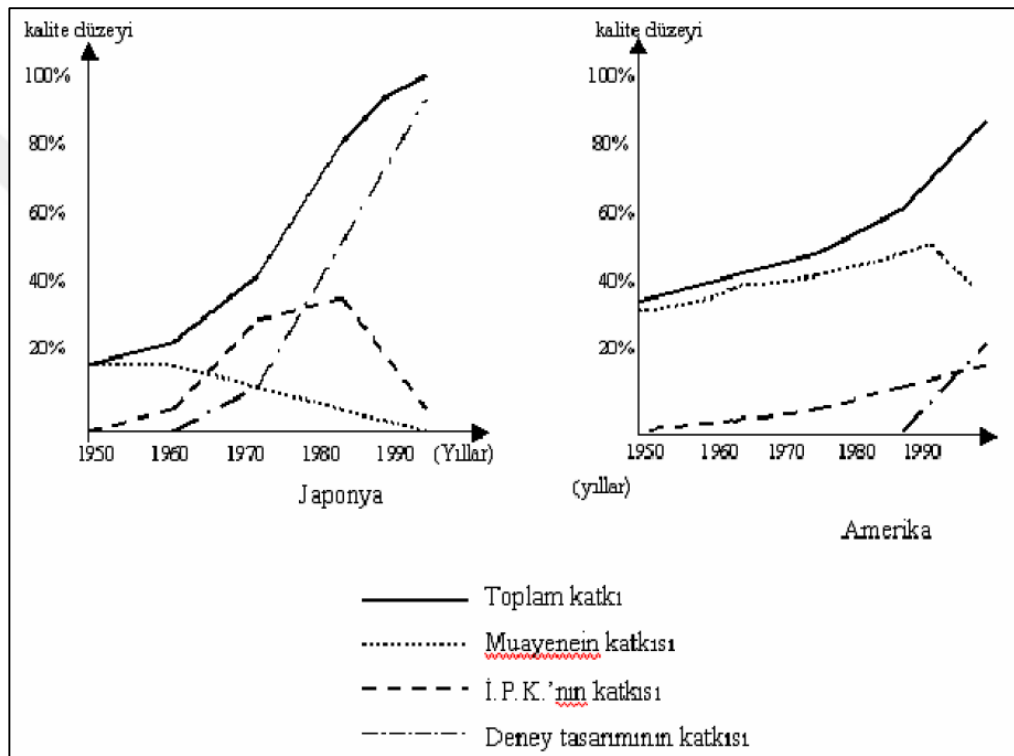
Tam faktöriyel deneylerin analizinde ANOVA (Varyans Analizi) ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile bir parametrenin deney üzerindeki etkisi hesaplanabilir.

1.2.1.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı

Tam faktöriyel DT’da belirlenen parametrelerin bütün seviyeleri ile oluşan kombinasyonlar tek tek denenmektedir. Bu durum ile beraber yüksek miktarda deney maliyeti gerekmekte ve deneylerin yapılması için çok zaman ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Maliyetten ve zamandan kazanmak için deney sayısının orantılı olarak azaltarak kesirli faktöriyel DT elde edilir. Örneğin 7 parametrelili ve 2 şer seviyeli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında $2^7 = 128$ deney yapılması gerekir bunun $1/2$ kesiri yani 64 deney ya da $1/4$ yani 32 ya da $1/8$ yani 16 deney ile yapılabilir. Deney sayısını kesirli olarak azaltmak tamamen araştırmacıların elindedir.

1.2.2. Deney Tasarımı Tarihçesi

“Deney tasarımı” kavramı 1920’lerde istatistik biliminde önemli bir yere sahip olan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında üretim verimini arttırmak amacıyla araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan “varyans analizi” (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Şekil 1.8’de görüldüğü gibi Japonya’da kalite ilerlemesine en büyük katkıyı 1970’den sonra DT yapmıştır.



Şekil 1.8. 1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı (Şirvancı, 1997)

1.2.3. Deney Tasarımı İlkeleri

Deney tasarımı çalışmalarını toplam kalite yönetimi doğrultusunda yapılmalıdır. Genel olarak deney tasarımı; planla, yap, doğrula, karar ver adımlarını benimser (Şirvancı, 1997).

1.2.3.1. Rassallaştırma

Rassallaştırma deney birimlerinin rassal olarak atanmasıdır. Rassallaştırma, deneysel verideki sistematik yanlılıkların oluşmasını engellemesi için gereklidir. Deney

kombinasyonlarının ortalamalarının karşılaştırılmasında her deney kombinasyonunun herhangi bir deney birimine atanması olasılığı aynı olmalıdır. Rassallaştırma, deney materyalinin atanmasının ve uygulanmasının rassal olarak belirlenmesidir.

1.2.3.2. Tekrarlama

Tekrarlama, deneylerin aynı faktör düzeyleri ile birçok kez yapılmasıdır. Deney iki veya daha fazla sayıda yapılarak değişkenliğin belirlenmesi kolaylaşmaktadır. Ortaya çıkan söz konusu hata ise, tesadüfler ve deneye dahil edilmeyen kontrol edilemeyen etmenlerin etkisiyle oluşmaktadır. Tekrarlama sayısının artışıyla güven aralığı azalmaktadır ve bu sayede aralık kestiriminin kesinliği artmaktadır.

1.2.3.3. Bloklama

Bloklama, incelenen faktörlerin özel durumları sebebiyle oluşan değişkenlik nedenlerini bölmektedir. Yani, kendi içinde homojen olan birimleri parçalayarak, deneylere atamaktadır. Bloklama yapılarak değişkenlik azaltılmaya çalışılmakta, benzer deneysel birimleri gruplandırıp kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indirerek bloklar içindeki gözlemlerin homojenliği sağlanmaktadır.

1.2.4. Taguchi Yöntemi

TY, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir DT ve optimizasyon yöntemidir. Üründe ve süreçte, değişkenliği faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesdeki değişkenliği en aza indirmeye çalışır. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin DT yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir (Ross, 1996).

Genichi Taguchi'nin Kalite Mühendisliği alanında geliştirdiği iki kavram bulunmaktadır:

1. Tasarımda Kalite (Quality Function Deployment). Bu teknik, müşteri ihtiyaçlarını ürün tasarımı ya da hizmet sürecine dönüştürmeyi sağlar. Amaç, müşteri tatminidir. Bazen “kalite evi” olarak adlandırılır.
2. Güçlü Tasarımı (Robust Design) Ürün ve süreç geliştirme sırasında kontrol edilebilen süreç parametreleri (hat hızı, basınç, sıcaklık vs.) için uygun düzey ve ayarların belirlenerek süreç varyasyonunun en aza indirilmesine yönelik yaklaşımdır.

Taguchi'nin kalite felsefesi;

1. Rekabetin giderek arttığı ve pazar koşullarının sürekli değiştiği ortamda sürekli kalite geliştirme ve maliyetleri azaltma önem taşır.
2. Ürün kalitesi iyileştirilirken ortaya çıkan “sosyal maliyet” göz ardı edilmemeli ve bu dışsal maliyet minimize edilmelidir.
3. Bir ürünün nihai kalite ve maliyeti, ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımıyla belirlenir (Çolak, 2007).

Taguchi üç tür tasarım üzerinde durmuştur (Unal ve Dean, 1990):

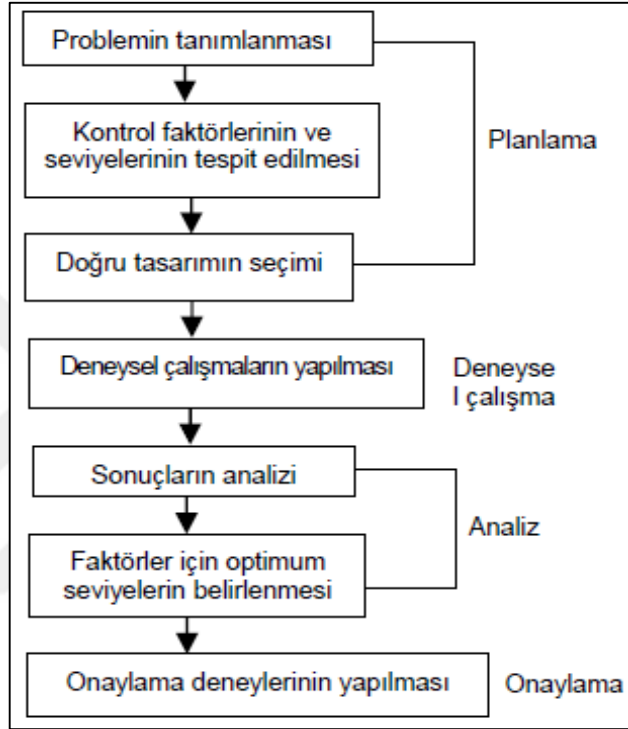
1. Sistem tasarımı: Teknoloji ve mimarlık şeklindeki fonksiyonel tasarım.
2. Parametre tasarımı: Ürün ve süreç parametrelerinin duyarlılığını azaltacak şekilde ayarlanması.
3. Tolerans tasarımı: Hedef etrafındaki kabul edilebilir toleransların belirlenmesi.

- Sistem tasarımı: Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir.

- Parametre tasarımı: Sürecin yenilemesinde ve iyileştirmesinde bulunan en önemli adımdır. Burada, üretimde ele alınan parametrelerin iyileştirilmesiyle üretilece/geliştirilecek ürünün özellikleri en iyi seviyeye getirilmeye çalışılır. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir bu parametrelerin etkileri minimize edilir. Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda gürültü oranı (S/N-Signal/Noise) analizi ile hesaplama yapılabilir.

- Tolerans tasarımı: Parametre belirleme çalışmaları ile beklenen hedefe ulaşamadığında yapılan ilave çalışmalardan tolerans tasarımını oluşturur. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılmaya çalışılır.

Şekil 1.9'da TY uygulama çizelgesi görülmektedir.



Şekil 1.9. TY uygulama iş akışı (Oğulata, 2010)

Taguchi yönteminin süreç geliştirmede incelediği aşamalar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır. Sistem tasarımında bilimsel ve mühendislik prensipleri kullanılarak temel konfigürasyon belirlenir. Parametre tasarımında, sistem parametrelerinin spesifik değerleri belirlenir. Tolerans tasarımında ise, hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar değerlendirilir. Taguchi tasarımında, gürültü faktörleri de denilen istenmeyen ve kontrol edilemeyen faktörlerden mümkün olduğunca etkilenmeyen bir sistem tasarlanmaya çalışılmakta, kontrol edilebilen faktörlerin uygun şekilde seçilmesi ile sistemin kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinden etkilenmemesi sağlanmaktadır. Ayrıca yapılan deney sayısının da oldukça az olması dikkat çekicidir.

Taguchi yöntemi bir tür kesirli faktöriyel tasarım olup, deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir bölümünün yapılması ile en iyi performans karakteristiğini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini belirtmektedir. Ortogonal dizinler bir sayı matrisi olarak ifade edilir. Her satır seçilen faktörlerin seviyelerini, her sütun ise dikkate alınan faktörleri ifade eder.

Ortogonal dizinlerin temel özelliği, deneye tüm faktörlerin eşit deneme sayıları ile katılmalarıdır. La(bc) şeklinde gösterilen ortogonal dizinler Latin kare tasarımından türetildiği için L, Latin kare tasarımını temsil etmektedir. “a” deneylerin sayısını, “b” her kolondaki seviye sayısını, “c” ise faktör sayısını ifade etmektedir. Yapılan DT’ye ve amaca göre genellikle 2 ve 3 seviyeli ortogonal dizinler kullanılmaktadır. En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler L4, L8, L12 ve L32’dir. En çok kullanılan 3 seviyeli dizinler ise L9, L18, L27’dir. Her iki seviyenin karışık olarak kullanılabilirdiği L18, L36, L54 gibi ortogonal dizinler de vardır.

Şekil 1.10’da 2 seviyeli L4(2³) ve 3 seviyeli L9(3⁴) ortogonal dizinler gösterilmektedir.

		Faktörler			
		A	B	C	D
Deneyler	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2
	3	2	1	2	2
	4	2	2	1	1
		L ₄ (2 ³)			
		Faktörler			
		A	B	C	D
Deneyler	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2
	3	2	1	2	2
	4	2	2	1	1
	5	2	2	3	1
	6	2	3	1	2
	7	3	1	3	2
	8	3	2	1	3
	9	3	3	2	1
		L ₉ (3 ⁴)			

Şekil 1.10. L₄(2³) ve L₉(3⁴) ortogonal dizinleri

Taguchi yöntemine göre tasarımdan elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmekte ve desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil etmektedir.

S/N oranı; küçük değer iyi, büyük değer iyi ve nominal değer iyi gibi hedeflenen değere göre farklı formüllerle hesaplanmaktadır (Oğulata, 2010).



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. PVP ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yakın geçmişte tekstil dahil olmak üzere birçok alanda kullanılan polimer teknolojisi ile birlikte birçok polimer çeşidinde ortaya çıkmıştır. PVP polimeri, $(C_6H_9NO)_n$, suda çözünebilen, polar ve amfoterik yapıda olan biyo uyumlu sentetik bir polimerdir. Yaygınca kullanımıyla birlikte ilaç, kozmetik, gıda, elektrikli cihazlar üretimi, tekstil endüstrisi başlıca kullanım alanlarındandır. PVP polimeri; elektriksel özelliği, çevresel kararlılığı, işlenmesindeki kolaylığı çalışma imkanlarını artırmasının yanında iyi yük taşıması ve evrensel çözünürlüğü ile kaplamalar için uygun bir polimer olarak kendini göstermektedir (Koç, 2016). PVP'nin diğer önemli bir özelliği, hidrojen bağı çözücü molekülleri olabilen karbonil oksijenlerin varlığıdır. PVP, geniş bir pH değerleri aralığında inert fizikokimyasal özelliklere sahip, oldukça kararlı bir polimerdir. ayrıca, C-O, C-N ve CH_2 fonksiyonel gruplarına sahip hacimli, toksik olmayan, iyonik olmayan bir polimerdir (Lakshminarayana et al., 2015).

Chou ve arkadaşları (2004) üç farklı moleküler ağırlığa sahip PVP (MW = 8000, 29.000, 55.000) formaldehit ile kimyasal indirgemenen elde edilen gümüş kolloidleri stabilize etme yeteneklerini incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, toplanmaya karşı etkilerinin, ortam sıcaklığında indirgeme reaksiyonunun teşviki için kullanılan alkaline bağı olduğunu göstermiştir. NaOH kullanıldığında, reaksiyon hızı çok hızlı olması nedeniyle sadece büyük moleküler ağırlıklı PVP, 20 nm civarında gümüş kolloidleri üretebilmiştir. Diğer yandan, $Na_2H O_3$ kullanımıyla gerçekleşen reaksiyon yavaşlatılarak molekül ağırlığı 8000 değerinde olan PVP, toplanmaya karşı en iyi korumayı sağladığı gözlenmiştir. Yıkama işlemiyle PVP'nin çoğu uzaklaştırılmıştır ve yıkanan gümüş kolloitlerin sinterleme davranışında incelenmiştir.

Gutmann ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada nano kristal gümüş parçacıkları içeren Ag ve Ag/SiO_2 kompozitlerinin kaplama çözeltilerinin hazırlanmasında, geleneksel ve mikrodalga ısıtmalı bir solvotermal işlem kullanılarak elde edilebileceğini ve farklı ısıtma prosedürleri için parçacık morfolojisinde önemli bir farkın gözlenmediğini ortaya koymuşlardır. Ancak kristalimsi gümüş nanoparçacıkların hazırlanması için yapılan solvotermal işlemde 120 °C'nin üzerine

çıkması gereklidir. Burada, gümüş tuzlarının indirgenmesi 120 °C sıcaklık üzerinde PVP ve etanol (ETN) ile sağlanmıştır.

Munir ve arkadaşları (2009) PVP, su ve ETN karışımı içinde çözölen çeşitli moleköler ağırlıklarda ve konsantrasyonlarda, farklı morfolojileri ve boyutlarını hazırlamak için kullanılmıştır. Dolaşık sayı diyagramı ve reolojik ölçümler esas alınarak boncukların ve liflerin morfolojisi tahmin edilip ve ölçölmüştür. İşlem değişkenlerini kontrol etmek için sabit akımlı bir elektro lif çekimi sistemi kullanılmıştır. Çözelti özellikleri ve işlem değişkenleri (voltaj, akım ve akış hızı) ile ilgili ölçeklendirme yasaları ve bunların lif/boncuk çapı üzerindeki etkileri tartışıldı. Yapılan çalışmaya göre; Viskozite, akış hızı ve akım, elektro lif çekimi sırasında morfolojinin kontrolünde önemli rol oynadığı saptanmıştır. Elektro lif çekimi yönteminde, çözelti viskozitesi ve yüzey gerilimi ayrıca sürekli liflerin elde edilebileceği konsantrasyon aralığının belirlenmesindeki önemli vurgulanmıştır. Dolaşık diyagramı ile yüksek moleköler ağırlıklı PVP ve düşük moleköler ağırlıklı PVP için lif/boncuk oluşumunu analiz etmişlerdir.

Teodorescu ve Bercea (2015) PVP bazlı biyomalzemelerin gelecekteki araştırmaları ve gelişmeleri için bulunan fırsatları göstermek amacıyla çok çeşitli uygulayıcı örneklerin özetini sunmuşlardır. PVP'nin çok yönlülüğünü; suda ve sıvı ortamdaki çözünürlüğü, yüksek kimyasal ve termal direnç ve eşsiz ıslatma, bağlama ve film oluşturma özellikleri dahil olmak üzere çeşitli özellikleri ile açıklamışlardır. Biyoyumluluk, toksisite olmayışı ve interpolimer kompleksleri oluşturmada yüksek kapasite sayesinde PVP'nin, tıbbi ve tıbbi olmayan kullanımlar için biyomalzemeler gibi farklı uygulamalar için malzeme tasarlamak için yaygın olarak kullanıldığını ortaya koymuşlardır.

Alimohammadi ve arkadaşları (2018) UV ışınması altında PVP/karbon nanotüpler/pamuk nanokompozit üretmişlerdir. Oluşan yapıların fonksiyonelliği ve dayanıklılığını araştırmak için SEM, termo-gravimetrik analiz, yanıcılık testi, çekme dayanımı testi gibi çeşitli karakterizasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Lif yüzeyinde düzgün bir PVP/karbon nano tüp kaplaması gözlemleyip; bu kaplamanın pamuğun hem termal stabilitesini iyileştirdiği, hem de iyi aktibakteriyel özellik sağladığını tespit etmişlerdir.

Song ve arkadaşları (2019) PU kullanımının, li-ion piller için umut verici bir ayırıcı malzeme olarak yoğun şekilde çalışıldığını, bununla birlikte, zayıf boyutsal kararlılık ve saf PU ayırıcının ıslanabilirliği ve uygulanmasını kısıtladığı ortaya koymuşlardır. Yaptıkları çalışmada ise PU ayırıcının termal stabilitesini, mekanik performansını ve sıvı-elektrolit uyumluluğunu arttırmak için polivinil pirolidon (PVP) ve grafen oksit kullanmışlardır. Yapılan elektrokimyasal karakterizasyonla, PU/PVP karışımıyla oluşturulan membranın gelişmiş li-ion piller için umut verici bir yapı olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Panzarasa ve arkadaşları (2019) kontrollü ilaç salınımı uygulamalarında sıkça kullanılan kaplamalar için yararlanılan etil selüloz ve PVP karışımını incelemiştir. Faz ayrımı ile oluşturulan mikro yapıların morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Hem bileşenlerin oranının hem de PVP'nin moleküler kütlelerinin, karışımların nihai özellikleri üzerindeki etkisi sistematik bir şekilde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar hem teorik olarak hem de bu polimerlere dayanan endüstriyel formülasyonların optimizasyonu için de faydalı olacağı öngörülmüştür.

Khan ve arkadaşları (2019) nano lif esaslı tüplerin potansiyel voltaj için kapasitelerini ve iskele olarak çeşitli çaplarda tüpleri oluşturma yeteneğini analiz etmişlerdir. Sinirbilim uygulaması için iskele olarak kullanılan nano lif bazlı tüpler elektro lif çekimi yöntemiyle PVP- altın nanopartiküllerin birleştirilmesiyle elde edildi. Nano lif bazlı tüplerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve transmisyon elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Yapılan analizler nano liflerde iyi bir yapısal stabilite ve iyi bir altın nanopartikül dispersiyonu durumunu ortaya çıkarmıştır.

2.2. Elektro Lif Çekim Yönteminin Taguchi Yöntemiyle Uygulanması

Elektro lif çekim yönteminde lif oluşumu ve farklı çap ve özelliklerde lif elde etmek için uygulanan parametreler değişiklik göstermektedir. Özellikle polimer konsantrasyonu, farklı polimerlerin en uygun çalışma koşullarını belirleme konularında birçok bilimsel çalışma mevcuttur (Huang et al., 2003). Optimum süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en etkili yöntemlerden biri de Taguchi ortogonal DT yöntemidir. DT'nin amacı hedeflenen veya araştırılan sonuçları ve bu

sonuçlardan meydana gelen sapmaları doğru bir şekilde analiz etmek için kullanılan deney grubunu etkili bir şekilde planlamaktır. Ortogonal tasarımların başlangıcı 1985'lere kadar uzanmaktadır. Kalite süreçlerine katkı sağlamak amacıyla kalite mühendisliği çalışma alanı olarakta bu yıllardaki çalışmalardan birisi olan Kackar'ın yaptığı çalışmada bu methodun kalite süreçlerindeki yeri ele alınmış ve Taguchi felsefesi kısaca tanımlanmıştır (Kackar, 1986). TY süreç parametrelerini iyileştirerek en iyi sonuçları tam faktöriyel DT yapılmadan daha az maliyet ve deney sayısı ile gerçekleştirdiği için kendine çok farklı disiplinler arasında yer bulmuştur.

Gómez-Tejedor ve arkadaşları (2010) elektro lif çekimi işlem parametrelerinin, polietil metakrilat (PEMA) içindeki liflerin ortalama lif çapı ve standart sapması üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çekme gerilmesi ve gerinim diyagramı ortaya konarak oryantasyonlu ve oryantasyonsuz elektro-spin webleri üretip, Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) deneyleri ile polimer zincirlerinin elektro lif çekimi nedeniyle denge dışı konformasyonlara zorlandığını tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmaya göre; PEMA filmlerinde camsı geçiş sıcaklığındaki artış, polimerin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde ısıtılarak dengelenmediğini göstermektedir. Hücrelerin, düz substratlar üzerinde kültürlenmiş hücrelerden daha fazla yayılmış perimetral odaklanma ile daha az genişletilmiş morfoloji gösterdiği gösterilmiştir. Hücrelerin, yönlendirilmiş elektrospin membranlarda substrat lifleri yönünde hizalanma eğilimi de bulunmuştur. Elde edilen veriler süreç parametrelerinin lif morfolojisi üzerinde yapılan değerlendirmelerde polimer konsantrasyonunun lif çapı üzerinde, elektriksel alanın ise standart sapma üzerine en büyük etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Dong ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada polilaktik asit (PLA)/halloysite nanotüp (HNT) kompozit liflerin üretimini Taguchi L9 ortogonal DT göre gerçekleştirmek üzere süreç parametreleri olarak; uygulanan voltaj, toplayıcı mesafesi, besleme hızı, HNT konsantrasyonlarını olarak 4 faktörü 3 seviyeli olarak ele almışlardır ve bu parametrelerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ve erime sıcaklığı (T_m) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. SEM, X-Işını Difraktometresi (XRD) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) göre analizler yapmışlardır. Elde edilen küçük lif çapı sonuçları sırasıyla çözeltinin besleme hızı, toplayıcı mesafesi ve uygulanan voltajla ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. PLA/HNT kompozit liflerin

matematiksel olarak en iyi üretim koşullarını belirlemek için Taguchi DT ve Pareto ANOVA analizi kombinasyonu en etkili istatistiksel yaklaşım olarak bahsedilmiştir. Khanlou ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada en uygun süreç parametrelerini belirlemek amacıyla polimetil metakrilat (PMMA) polimerini deneysel olarak incelemek üzere ele almış olup, en küçük çaplı PMMA lifi eldesi için kontrol edilebilen parametrelerin elektro lif çekim yöntemi ayarları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda; çözelti besleme hızı, iğne çapı, uygulanan voltaj, polimer konsantrasyonu ve toplayıcı mesafesi olarak ele alınan faktörlerin farklı seviyeleri ile birlikte L18 mixed-level Taguchi ortogonal tasarımına göre yapılan deneyler sonucu S/N oranı daha küçüğün daha iyi olduğu yaklaşıma göre hesaplanmıştır. Gözlemlenen en küçük lif çapı 228 (-+76) nm olup; % 15 polimer konsantrasyonu, 20kV voltaj, 1 ml/h besleme hızı, 15 cm toplama mesafesi, ve 19 iğne çapı en iyi (optimum) değerler olarak bulunmuştur. S/Noranı sonuçlarına göre ise; polimer konsantrasyonu lif çapı üzerinde en etkili parametre olmak üzere sırasıyla besleme hızı, toplayıcı mesafesi, iğne çapı ve voltaj en etkili parametreler olarak tespit edilmiştir. Taguchi deney yönteminin tasarımının, elektro lif çekim yönteminde kullanılan parametreleri istatistiksel olarak optimize etmek ve sonuçta elde edilen yüzeydeki liflerin elyaf çap ve morfoloji analizi için etkili bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

Albetran ve arkadaşları (2015) tarafından, TiO₂ nano lifleri PVP polimeri içinde sol-jel elektro lif çekimi kullanılarak hazırlanan Taguchi DT'de; TiO₂/PVP nano elyafların titanyum izopropoksit (TiP) konsantrasyonu, akış hızı, iğne ucu-toplayıcı mesafesi ve uygulanan voltaj dahil olmak üzere ele alınan faktörlerin lif çapı üzerine etkisi değerlendirildi. Yapılan çalışmada, nano elyaf çapları için DOE deneylerinin analizi, TiP konsantrasyonunun en önemli faktör olduğunu göstermiştir. İdeal kombinasyonun, 1 ml/saat akış hızında, iğne ucu-toplayıcı mesafesi 11 cm'de ve uygulanan voltaj 18 kV olan % 60'lık TiP konsantrasyonu olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, zein Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılarak elektro lif çekimi yöntemi ile üretilmiştir ve tasarımda uygulanan voltaj, akış hızı, iğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe ve çözücü tipi olarak dört faktör ele alınmıştır. Glacial asetik asitin (AA) ve ETN'nin çözücü olarak kullanılan deneylerde zein liflerinin çapı üzerinde çözücü cinsi en etkili faktör olduğu belirlenirken, uygulanan voltaj lif

çapı en etkili ikinci parametre olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, akış hızı ve toplayıcı ile uç arasındaki mesafenin, diğer faktörlere kıyasla elyaf çapı üzerinde daha az etkisi olduğu bulunmuştur. Faktörlerin optimum kombinasyonu 12 kV uygulanan bir voltaj, 15 µL / dak akış hızı, 10 cm'lik bir mesafe ve bir glacial AA çözücü tipi olarak belirlenmiştir. Bu en uygun koşullar kullanılarak üretilen farklı zein konsantrasyonlarına sahip elektrospun elyaflarına göre, en ince elyaflar % 16 ve % 20 zein konsantrasyonlarında üretilmiştir, ancak bu elyaflar boyunca birçok boncuk yapısı gözlenmiştir. Çözeltilerin zein konsantrasyonu arttığında, boncuksuz ve pürüzsüz fiberler üretilebilmesi mümkündür, ancak bu durumda lif çapı artışı söz konusudur.

Elkasaby et al., (2017) PVA elektro lif çekimi yöntemi ile incelenen parametrelerin optimizasyonuna yönelik DT uygulanmıştır. Varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi L27 ortogonal dizini, kontrol parametrelerinin etkisini analiz etmek için kullanılmıştır. Çalışılan değişkenler: uygulanan voltaj, çözelti konsantrasyonu, dönme hızı, toplayıcı mesafeleri ve besleme hızıdır. Yapılan çalışmada, konsantrasyon yüzdesi ve besleme hızı sırasıyla % 99 ve % 90 güven seviyelerinde en önemli işlem değişkenleri olarak belirlenmiştir.

Gee ve arkadaşları (2018) nanofiber membranlar elektro lif çekimi yöntemi ile imal etmişlerdir. Membranların piezoelektrik özelliklerin optimizasyonu için Taguchi tasarım yöntemi kullanılmıştır. Taguchi tasarımı için; iğne-toplayıcı mesafesi, akış hızı, voltaj gibi faktörler ele alınmıştır. Kullanılan üç çözücünden (dimetilformamid (DMF), N-metilpirolidon ve dimetil sülfoksit (DMSO)) DMF'in en küçük elyaf çapını ve en yüksek piezoelektrik özelliklerini oluşturduğu gözlenmiştir. Çalışmada polimer olarak poliviniliden florür (PVDF) kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Literatürde yapılan çalışmalar

Polimer	Çözücü	Yöntem	Parametre	Kaynak
PVDF	DMF, DMSO, DMP	Elektro lif çekimi, Taguchi L9 ortogonal tasarımı	İğne-toplayıcı mesafesi, akış hızı, voltaj	Gee et al., 2018
TiO ₂ /PVP	AA, ETN	Sol-jel elektro lif çekimi, Taguchi L9 ortogonal tasarımı	TiP konsantrasyonu, akış hızı, iğne ucu-toplayıcı mesafesi, voltaj	Albetran et al., 2015
PEMA	MK, DMF	Elektro lif çekimi, Taguchi L18 ortogonal tasarımı	Konsantrasyon, elektrik alanı, mesafe, akış hızı iğne çapı	Gómez-Tejedor et al., 2010
PMMA	DMF	Elektro lif çekimi, Taguchi L18 mixed-level ortogonal tasarımı	Çözelti besleme hızı, iğne çapı, voltaj, polimer konsantrasyonu, mesafesi	Khanlou et al., 2015
PLA	KLR, Aseton	Elektro lif çekimi, Taguchi L9 ortogonal tasarımı	Voltaj, toplayıcı mesafesi, besleme hızı, HNT konsantrasyonu	Dong et al., 2013
Zein	Glacial AA, ETN	Elektro lif çekimi, Taguchi L9 ortogonal tasarımı	Çözücü cinsi, voltaj, besleme hızı, mesafe	Horuz vd., 2018
PVA	Buharlaşan çözücü	Elektro lif çekimi, Taguchi L27 ortogonal tasarımı, ANOVA	Voltaj, çözücü konsantrasyonu, besleme hızı, dönüş hızı	Elkasaby et al., 2017

3. MATERYAL VE YÖNTEM

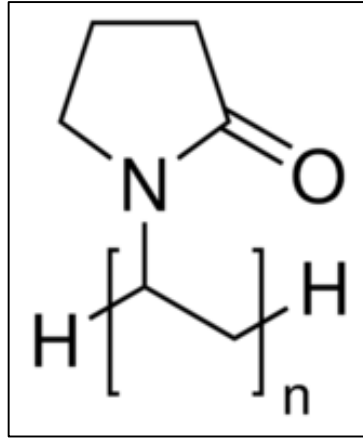
Çalışmada; öncelikle PVP polimeriyle çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltilerde ETN, saf su, DMF, dimetilasetamid (DMAC), AA ve kloroform (KLR) olmak üzere 6 çeşit çözücü kullanılmıştır. Çözeltiler hazırlanıp eşit süre ve hızda karıştırılarak lif çekimi gerçekleştirilmiştir. Lif çekimi koşulları belirlenen L18 Taguchi ortogonal dizilimine göre seçilen parametreler doğrultusunda sahip oldukları seviyelere göre 18 deney yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda; uygun çözücü ve konsantrasyonlarda hazırlanmış çözeltiler şırıngaya doldurularak düzenek içerisine yerleştirildikten sonra, uygun pompa hızı, iğne ucu ile toplayıcı levha arasındaki mesafe, voltaj, besleme hızı ve kabin içerisindeki nem ayarlanarak her deney yarım saat olmak üzere elektro lif çekimi uygulanmıştır. Bu çözeltilerin öncelikle elektrik özellikleri (iletkenlik), yüzey gerilimi ve reolojik özellikleri (viskozite) belirlenip, toplayıcı levha üzerinde oluşan nano lifler SEM yardımıyla farklı büyütme oranlarında görüntülenmiş ve Image J analiz programı ve MS Excel kullanılarak lif özellikleri (çap, üniformite katsayısı) hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonunda, elde edilen tüm ölçüm sonuçları grafiksel ve istatistiksel olarak analiz edilerek karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler SPSS 2018 ve Minitab 2018 paket programları ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. Materyal

Bu çalışmada, polimer olarak PVP (PVP, K 90, 360000 g/mol molekül ağırlığı, Sigma Aldrich), çözücü olarak ETN (EMSURE), saf su, DMF (Sigma Aldrich), DMAC (Merck), KLR (EMSURE) kullanılmıştır. Tüm ölçümlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ETN ile hazırlanan çözeltilerden elde edilen sonuçların çalışmanın amacına daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan PVP polimerinin kimyasal yapısı Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. PVP polimerinin kimyasal yapısı (Merck, 2019)

PVP oldukça polar ve amfoterik yapıda, suda çözünebilen bir polimerdir. N-Vinil pirolidon, kaynama noktası 96 °C, donma noktası 13.5 °C, molekül ağırlığı 111.16 g/mol, viskozitesi 2.07 cP (25 °C) olan nem çekici bir maddedir. Vinil pirolidon reaktif çift bağı sayesinde çeşitli katılma reaksiyonları verir. PVP beyaz veya hafif sarımsı, sert film teşkil eden toz yapılı bir polimerdir. Özellikle organik çözücü ve sudaki iyi çözünürlüğü, hem hidrofilik, hem de hidrofobik maddelerin her ikisiyle de güçlü kompleksleşmesi, kimyasal kararlılığı gibi kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı oldukça çok kullanılan bir polimerdir. Vinil pirolidon, reaktif vinil amid grubu çevresindeki elektron dağılımı sebebiyle çok çeşitli monomerlerle kopolimerize olabilir. Kopolimerizasyon, serbest radikal başlatıcılar ile çözelti içinde gerçekleştirilir. Vinil pirolidon, zayıf elektron vericidir. Hem elektron alıcı, hem de güçlü vericilerle kolaylıkla kopolimerize olurlar. Tekstil, kağıt, yapıştırıcı, membran, plastik, kozmetik, deterjan, seramik, tıp, eczacılık, elektrokimya ve fotokimya gibi endüstrilerde kullanılmaktadır (Karahasanoğlu, 2005).

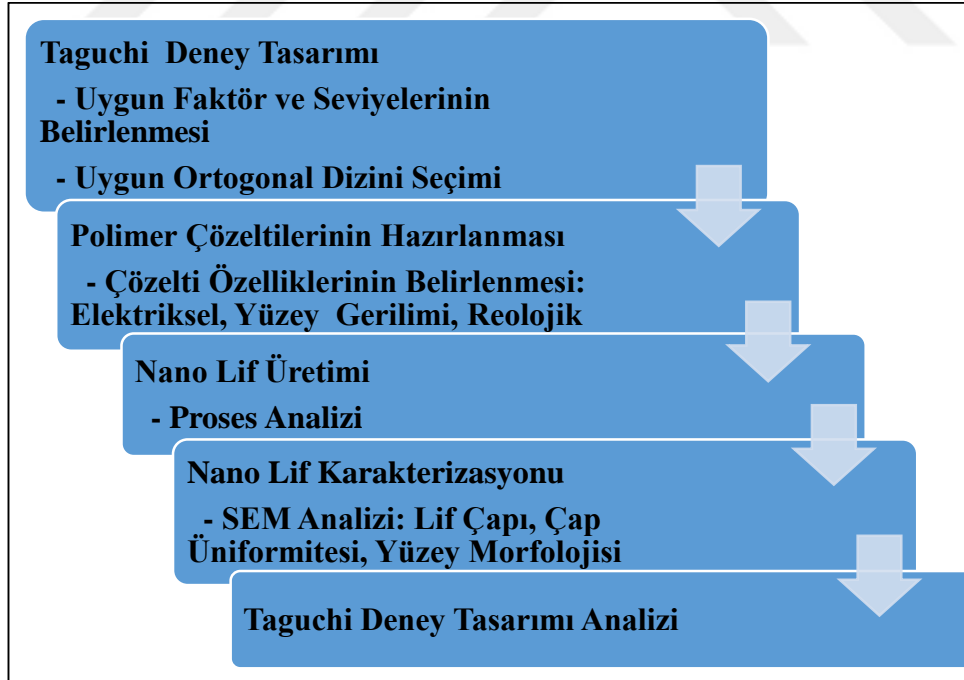
3.2. Yöntem

Çalışmada öncelikle; TY'ne göre karışık faktör-seviyeli dizinlerden olan L18 ortogonal tasarımı seçilmiştir. Bu tasarıma göre elektro lif çekim yöntemiyle nano lif üretimi gerçekleştirilmek üzere belirlenen parametreler ve seviyeleri şu şekildedir: solvent tipi (ETN, saf su, DMF, AA, DMAC, KLR), polimer konsantrasyonu (% 10, % 12, % 14), voltaj seviyesi (24.4 kV, 26.4 kV, 28.4 kV), elektrotlar arası mesafe (17 cm, 19 cm, 21 cm), pompa besleme hızı (0.7 ml/sa, 0.8 ml/sa, 0.9 ml/sa), kabin nemi (% 25, % 30, % 35). Burada, deney sayısı azaltılarak polimer için belirlenen

parametrelerin optimumluğunu sağlayan faktör ve seviyeleri belirlenmeye çalışılıp, ince lif çapı ve aynı zamanda düzgün lif morfolojisi sağlayan nano lif oluşumu tespiti amaçlanmıştır.

Daha sonra hazırlanan tüm çözeltilerin elektrik özellikleri (iletkenlik), yüzey gerilimi ve reolojik (viskozite) özellikleri belirlenmiştir. Çözelti özellikleri belirlendikten sonra, elektro lif çekim yöntemi ile üretilen nano lif esaslı nano yüzeylerin SEM ile görüntüleri alınmıştır. Daha sonra Image J görüntü analiz programı kullanılarak SEM görüntüleri analiz edilmiş ve ortalama lif çapı, lif çapı üniformitesi hesaplamaları yapılmıştır.

Son olarak ise, PVP çözelti özellikleri, süreç özellikleri ve nano lif esaslı yüzeylerin özellikleri (lif çapı, çap üniformitesi vb.) arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve gerekli analizler SPSS 2018 ve Minitab 2018 paket programları ile Taguchi tasarımı analizine uygun şekilde yapılmıştır. Şekil 3.2’de tez çalışmasına ait iş akış planı yer almaktadır.



Şekil 3.2. Çalışmada uygulanan iş akış planı

Hazırlanan PVP çözeltilerin özelliklerini belirlemek için iletkenlik ölçer, yüzey gerilim ölçme cihazı ve viskozimetre kullanılmıştır.

3.2.1. Polimer çözeltilerin hazırlanması

Polimer çeşidine göre nano lif üretimi için kullanılan çözücüler genellikle farklıdır. Bu çalışmada PVP polimerini çözmek için literatürde çalışılan (Yang vd., 2004), 6 farklı çözücü kullanılmış olup, PVP için uygun olan çözelti ve koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

Polimer/çözücü karışımı olarak çözeltiler 25'er gram olmak üzere % 10, % 12 ve % 14 olarak hazırlandı. Malzemelerin gramaj ölçümü için Kern PCB hassas tartı kullanıldı. İlk olarak yapılacak deneye göre uygun miktardaki ölçülmüş olan çözücü cam şişeye alınıp huniyle uygun miktarda ölçülmüş olarak eklenen polimerle birlikte aşağıdaki Şekil 3.3'te görülen çözelti çoklu manyetik karıştırıcıda 5 s^{-1} dönüş hızıyla, 4 saat karışıma bırakıldı. Homojenlik ve eşit koşullarda karıştırma olması amacıyla bu süre en uzun çözünen çözeltilere göre belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Çözelti çoklu manyetik karıştırıcı

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan çözeltiler ve içerikleri

Deney no	Polimer çeşidi	Çözücü çeşidi	PVP konsantrasyonu (%)
1	PVP	ETN	10
2	PVP	ETN	12
3	PVP	ETN	14
4	PVP	AA	10
5	PVP	AA	12
6	PVP	AA	14
7	PVP	DMF	10
8	PVP	DMF	12
9	PVP	DMF	14
10	PVP	KLR	10
11	PVP	KLR	12
12	PVP	KLR	14
13	PVP	DMAC	10
14	PVP	DMAC	12
15	PVP	DMAC	14
16	PVP	SU	10
17	PVP	SU	12
18	PVP	SU	14

Çizelge 3.1’de hazırlanmış olan çözeltilerde kullanılan çözücü cinsleri ve konsantrasyonları gösterilmektedir. 18 adet test numunesi hazırlanmıştır.

3.2.2. Çözelti özelliklerinin belirlenmesi

Bu tez çalışmasında tüm çözeltiler aynı koşullarda hazırlandıktan sonra, öncelikle elektrik özellikleri (iletkenlik), yüzey gerilimi ve reolojik özellikler (viskozite) belirlenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cihazlar ve yöntemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.2.1. Elektrik özelliklerinin belirlenmesi

İletkenlik Ölçümü

İletkenliğin (Uyar ve Besenbacher, 2008) lif çekilebilirliği üzerindeki etkilerinin incelendiği yapılan çalışmalarda görülmektedir. Yüklerin elektro lif çekim jeti yüzeyine itilmesi çözeltinin gerilmesini ve nano lifleri oluşturmasına neden olur. Çözeltinin elektrik iletkenliği arttığında jet daha fazla yük taşıdığı için elektrospon

nano liflerin çapında 3nemli bir azalma g3zlenebilir. Polimer 3zeltisine az miktarda tuz ilave edilirse artan elektriksel kuvvetler elektro lif çekim jetinin uzamasını ve d3zg3n nano lifler 3retilmesini sağlar. B3ylelikle, boncuklu liflerin oluşumu 3nlenenebilir. Bunun yanısıra, 3zeltinin iletkenliği çok y3ksekse, elyafları çok y3ksek voltajlarda bile 3retmek imkansızdır. Benzer şekilde, 3zelti hiç iletkenliğe sahip değilse de elyaf oluşturmak m3mk3n değildir.

Bu çalışmada 18 adet farklı konsantrasyona sahip polimer 3zeltileri için iletkenlik 3l3m3, şekil 3.4’de g3r3len CD-2005 marka iletkenlik 3ler ile gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.4. iletkenlik 3l3m cihazı

Bu cihazın çalışma prensibinde; hazırlanan polimer 3zeltiye, aralarındaki bir uzaklık olan ve belli bir kesite sahip iki elektrot, kaptaki 3zeltiye sadece levhalar girecek şekilde daldırılarak iletkenlik 3l3lmektedir.

Elektro lif çekim işleminin başlatılabilmesi için polimer 3zeltinin yeterli miktarda y3klenmesi gerekmektedir.

3.2.2.2. Y3zey geriliminin belirlenmesi

Sıvı y3zeyinde birim uzunluğu gergin tutan kuvvete y3zey gerilimi denilmektedir. Elektro lif çekim y3nteminde ise polimer 3zeltisine uygulanan elektrik alan kuvvetine karşı direnç g3steren ilk kuvvet olarak da bilinmektedir. Elektro lif çekim işleminde lif çekim işlemini başlatabilmek için polimer 3zeltiye uygulanan elektrik

yüklerinin çözeltinin yüzey gerilimini aşması gerekmektedir. Bu çalışmada yüzey gerilimi ölçümleri, Wilhelmy plaka yöntemi kullanılarak, Şekil 3.5'te görülen Biolin Scientific marka yüzey gerilim ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Yüzey gerilimi ölçüm cihazı

Wilhelmy plaka yönteminde, belirli boyutlara sahip platinden yapılmış olan ince bir levha, sıvı yüzeyine doğru alçalır ve levha sıvı yüzeyine değdiği anda sabitlenir. Daha sonra levha ile sıvı arasında oluşan menisküsün ağırlığı ölçülür ve bu değer kullanılarak yüzey gerilimi değeri hesaplanır. Ölçüm işlemi boyunca plaka sıvı ile bu şekilde temas halinde kalır. Ölçüm sonuçları aynı anda cihaza bağlı olan bilgisayar ekranından görülebilmektedir.

Ölçümler esnasında her bir çözelti için üç ayrı ölçüm gerçekleştirilerek ortalama değerleri hesaplanmıştır.

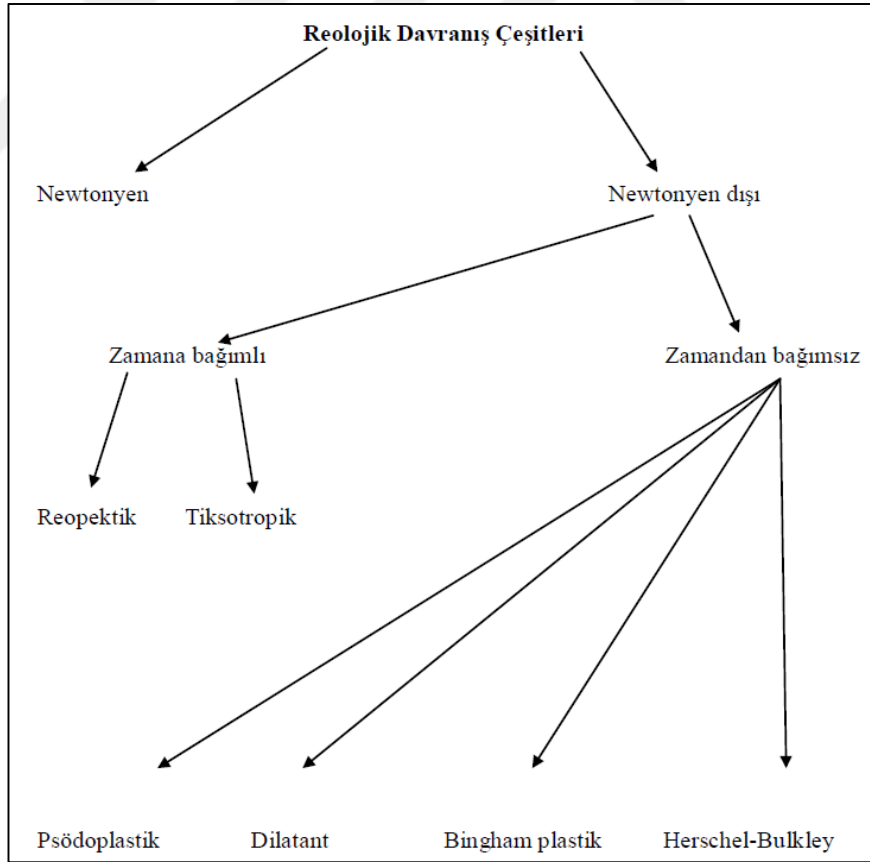
3.2.2.3. Reolojik özelliklerin belirlenmesi

Viskozite ölçümü

Reoloji, Yunanca “akma” olarak tanımlanan “rheo” kökünden gelmektedir ve maddenin deformasyonu (şekil değiştirmesi) olarak adlandırılmaktadır. Viskozite ise sıvıların akışkanlığa karşı göstermiş olduğu direncin bir ölçümüdür. Viskozite arttıkça akışkanların deforme olmaya karşı gösterdiği direnç artmaktadır. Yani,

viskozitesi yüksek olan sıvının akışkanlığı düşüktür. Sıvıların viskozluğu, molekül yapıları ve moleküller arası etkileşimlerle yakından ilgilidir. Farklı besleme çözeltilerinde nano lif üretimi için gerekli viskozite aralığı da değişiklik göstermektedir. Çözeltinin viskozitesi arttıkça nano lif çapı da artmaktadır. Ayrıca, yüksek viskoz çözeltilerden nano lif elde etmekte zorlaşmaktadır (Terzi, 2013).

Reolojik davranış biçimleri sınıflandırmak gerekirse; kayma hızı ve zamana bağlı olarak sınıflandırılabilir. Buna göre reolojik sınıflandırmada genel olarak newtonyen ve newtonyen dışı akışkanlar vardır. Newtonyen olmayan davranışlar zamana bağımlı ve zamandan bağımsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Newtonyen olmayan zamana bağımlı akışkanlar tiksotropik ve reopektik (antitiksotropik) olarak sınıflandırılmaktadır. Newtonyen olmayan zamandan bağımsız akışkanlar ise Bingham plastik, Herschel-Bulkley, psödoplastik ve dilatant olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Reolojik davranış çeşitlerinin sınıflandırılması (Terzi, 2013)

Bu çalışmada kullanılan PVP çözeltilerinin viskozite ölçümleri, Şekil 3.7’de görülen Lamy Rheology marka reometre cihazı ile 25 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Viskozite ölçüm cihazı

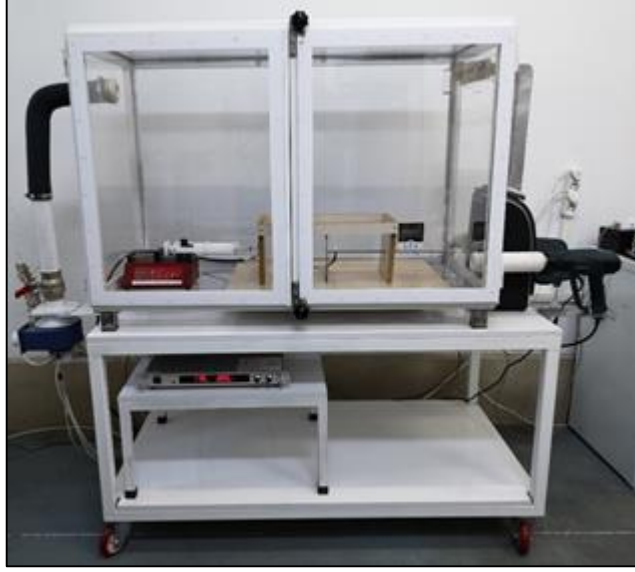
Reolojik davranışları etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir:

- Sıcaklık: Sıcaklık arttıkça viskozite azalmakta akıcılık ise artmaktadır. Bu nedenle viskozite ölçümleri belli bir sıcaklıkta yapılmalıdır.
- Konsantrasyon: Konsantrasyon arttıkça viskozite artmakta ve akıcılık ise azalmaktadır (Terzi, 2013; Steffe, 1996).

3.2.3. Nano lif Üretimi

3.2.3.1. İğneli elektro lif çekim yöntemi

Nano lif esaslı yüzey elde etmede temel yöntemlerden iğneli elektro lif çekim yöntemidir. Çözelti özellikleri belirlendikten sonra, Şekil 3.8’de görülen iğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak, PVP nano lif esaslı nano yüzey üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Deneysel ortamda kullanılan iğneli elektro lif çekim sistemi

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bir pompa desteğiyle polimer çözelti beslemesi sağlanan iğne ucu ile topraklanmış düz metal levhadan oluşan sistem iki elektrotta sahiptir. İğnenin ucuna bağlanan yüksek voltaj kaynağı açıldığında, topraklanmış düz metal levha ile iğne ucu arasında elektrik alan meydana gelmektedir. Elektrik alan kuvveti polimer çözeltisinin iç gerilim kuvvetlerini aştığı anda elektro lif çekim işlemi iğne ucundan topraklanmış levhaya doğru gerçekleşmektedir. İğneli elektro lif çekim yönteminde PVP polimer çözeltisinin lif çekimini gerçekleştirmek üzere optimum işlem parametreleri (pompa besleme hızı, elektrotlar arası mesafe, voltaj) belirlenmiştir. Çizelge 3.2’de PVP polimer çözeltisinden iğnelielektro lif çekim yönteminde lif çekimi gerçekleştirilirken kullanılan işlem ve çevresel parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.2. İğneli elektro lif çekim yönteminde kullanılan parametreler

İşlem Parametreleri			Çevresel Parametreler
Elektrotlar arası mesafe (cm)	Çözelti besleme hızı (ml/s)	Uygulanan voltaj (kV)	Nem (%)
17-19-21	0.7-0.8-0.9	24.4-26.4-28.4	25-30-35

3.2.4. Nano lif karakterizasyonu (SEM analizi)

SEM, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibine dayanarak çalışmaktadır. Nano liflerin yapısı normal mikroskoplar altında belirlenemeyecek kadar küçük olduğu için lif çapı ve morfolojilerini gözlemlemek için QUANTA FEG 250 marka SEM kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM)

İğneli elektro lif çekim yöntemi ile üretilen nano liflerin SEM görüntüleri; morfolojik analizler için 1.000 ve 5.000 kat büyütme, lif çapı hesaplamaları için ise 10.000 ve 20.000 kat büyütme oranları kullanılarak elde edilmiştir.

Lif çapı ve morfolojik analizler için bu SEM görüntüleri kullanılarak IMAGE J görüntü analiz programı ile hesaplamalar yapılmıştır. Üretilen liflerin çapı hesaplanırken her bir SEM görüntüsünden 100 farklı ölçüm yapılmıştır. Daha sonra çap üniformitesini belirlemek için sayıca ortalama ve ağırlıkça ortalama değerleri hesaplanmıştır. Sayıca ortalama, matematikte kullanılan aritmetik ortalamadır. Lif çapı üniformite katsayısını hesaplamada kullanılan yöntem, kimyadaki molar kütle dağılımı esasına dayanmaktadır (Cengiz-Çalhoğlu, 2011).

3.2.5. Taguchi Deney Tasarımı Analizi

Klasik DT yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısında aynı şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli faktöriyel tasarım olan TY uygulanması daha verimli ve kolay olacaktır. Karar vermeyi gerektiren birçok durumda da TY başarı ile uygulanabilmektedir. Böylece deney öncesi yapılan çalışmalar sonucunda deney sayılarında önemli derecede azalma gözlenmiştir.

TY'nin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Bu yöntemle elde edilen deney sonuçları S/N oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Diğer önemli bir nokta ise DT'nin dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Duduhan, 2009).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular iki ayrı bölümde incelenmiştir. PVP polimeri farklı konsantrasyonlarda, ETN, saf su, DMF, DMAC, AA ve KLR olmak üzere 6 farklı çözücü kullanılarak hazırlanmıştır. Taguchi L18 ortogonal tasarımına göre hazırlanan çözeltilerin; elektrik (iletkenlik), yüzey gerilimi ve reolojik (viskozite) özelliklerinden elde edilen bulgular birinci bölümde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar SPSS Two-way Anova istatistiksel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise iğneli elektro lif çekim yöntemi ile üretilen PVP nano lif esaslı yüzeylere ait SEM görüntülerinin analizleri verilmiştir. Bu analizlerde IMAGE J görüntü analiz programı kullanılarak lif çapı, çap üniformite katsayısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların yine SPSS Two-way Anova istatistiksel analiz yöntemiyle analiz edilmiştir.

4.1.Taguchi Deney Tasarımı Analizi

Klasik DT yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da aynı şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli faktöriyel tasarım olan TY uygulanması daha verimli ve kolay olabilmektedir. Karar vermeyi gerektiren birçok durumda da TY başarı ile uygulanabilmektedir. Böylece deney öncesi yapılan çalışmalar sonucunda deney sayılarında önemli derecede azalma sağlanabilir.

TY'nin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Taguchi DT yönteminde elde edilen deney sonuçları S/N oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Diğer önemli bir nokta ise DT'nin dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirebilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Duduhan, 2009).

4.1.1. Tasarıma Uygun Faktörler ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Elektro lif çekim yönteminde nano lif üretimini gerçekleştiren sistem ve bu sistemi etkileyen parametreler ele alınmıştır. Ele alınan parametreler direkt olarak lif üretim sürecini veya lif morfolojisini etkilemektedir. Çalışma ortamındaki deney düzeneği incelenmiş bu gözlemler literatür ile karşılaştırılmıştır. Faktör olarak: çözücü tipi 6 seviyeli; polimer konsantrasyonu, voltaj seviyesi, elektrotlar arası mesafe, çözelti besleme hızı, ortam nemi 3 seviyeli olmak üzere toplamda 6 faktör ele alınmıştır. Lif üretimi sırasında kabin içerisindeki sıcaklık ise ortam nemine bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 4.1’de belirlenen faktör ve seviyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Faktör ve seviyeleri

Faktör	Seviye
Çözelti Tipi (A)	ETN, AA, KLR, DMF, DMAC, Su
Polimer Çözeltisi (B)	% 10-12-14
Voltaj (C)	24.4-26.4-28.4 kV
Elektrotlar Arası Mesafe (D)	17-19-21 cm
Besleme Hızı (E)	0.7-0.8-0.9 ml/sa
Nem (F)	25-30-35 %

4.1.2. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Probleme uygun ortogonal dizinler serbestlik derecelerine göre belirlenir. Her faktörün serbestlik derecesi faktör seviye sayısının bir eksikidir. Bu durumda toplam serbestlik derecesi çizelge 4.2’deki gibi bulunmaktadır.

Çizelge 4.2. Toplam serbestlik derecesi

Faktör	Seviyeler	Serbestlik Derecesi
A	6	5
B	3	2
C	3	2
D	3	2
E	3	2
F	3	2
Toplam Serbestlik Derecesi		15

Toplam serbestlik derecesi, maksimum seçilecek ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olacaktır. Bu durumda en küçük ortogonal dizin $L_{18}(6^1 3^5)$

seçilecektir. Deneyleer sırasında incelenecek faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneyleer belirlenmiştir.

4.1.3. Faktörlerin Kolonlara Atanması

On sekiz deneylee Taguchi L18 deneylee, çalışma için uygun olan tasarımlardan biridir. Çizelge 4.3’de elektro lif çekiminde deneylee koşullarını etkileyen 6 faktörün seviyeleriyle birlikte olduğu Taguchi L18 DT gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Taguchi L18 ortogonal dizin deneylee tasarımı (Montgomery, 2017)

Deneylee no	A	B (%)	C (kV)	D (cm)	E (ml/sa)	F (%)
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	1	1
2	2	3	3	1	2	2
3	3	1	1	2	3	3
1	2	1	3	2	1	2
2	3	2	1	3	2	3
3	1	3	2	1	3	1
1	3	3	2	2	1	3
2	1	1	3	3	2	1
3	2	2	1	1	3	2
1	2	3	1	3	1	2
2	3	1	2	1	2	3
3	1	2	3	2	3	1
1	3	2	3	1	1	3
2	1	3	1	2	2	1
3	2	1	2	3	3	2

Deneyleer gerçekteştirilmesiyle birlikte elde edilen numunelerden SEM görüntüleri alınarak ortalama lif çapları ve üniformite ölçülmüştür. Ayrıca görüntü sonuçlarına göre lif morfolojisi incelenmiştir. Elde edilen lif çapı ve üniformite ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’de verildiği gibidir. Bu sonuçlar analiz işlemlerinde S/N oranının hesaplanmasında ve varyans analizinde kullanılacaktır.

4.2. Çözelti Özelliklerinin Belirlenmesi

4.2.1. İletkenlik Ölçüm Sonuçlarına Ait Analiz Bulguları

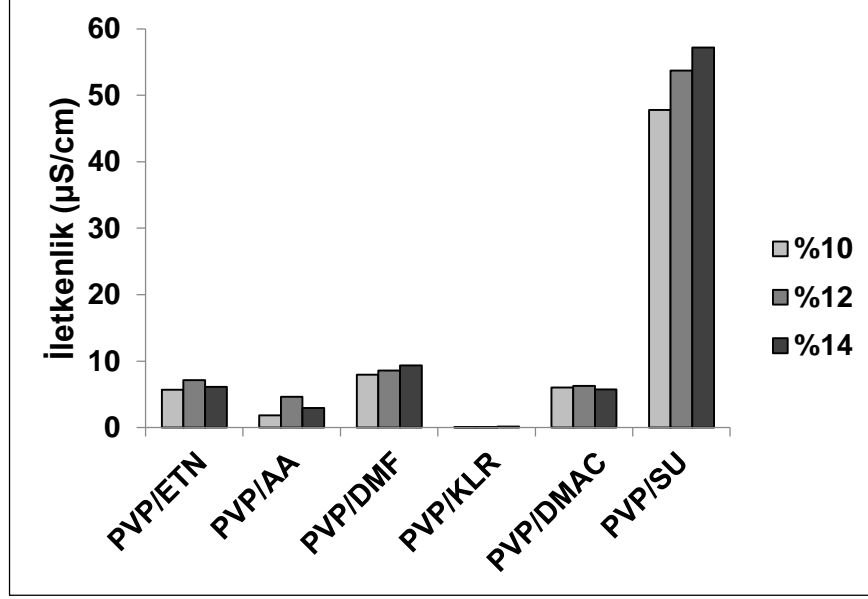
Çizelge 4.4'de hazırlanan 18 polimer çözeltisinin iletkenlik ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Polimer çözeltilerinin iletkenlikleri

Deney no	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
1	5.72	23.0
2	7.13	18.7
3	6.14	23.3
4	1.86	23.5
5	4.66	22.2
6	2.93	23.2
7	7.98	21.5
8	8.58	22.4
9	9.38	20.5
10	0.07	20.2
11	0.07	20.4
12	0.16	19.7
13	6.03	22.4
14	6.30	21.0
15	5.74	21.8
16	47.80	21.5
17	53.70	21.8
18	57.20	21.3

Şekil 4.1'de ölçülen iletkenlik ve sıcaklıklar görülmektedir. Sıcaklık değerleri hemen hemen birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülürken, çözelti iletkenlikleri çözücü cinslerine göre farklılıklar göstermektedir.

PVP/ETN, PVP/AA, PVP/DMAC için konsantrasyon artışı ile eş zamanlı olarak iletkenlik artışı söz konusu değil iken, PVP/DMF ve PVP/SU ile söz konusudur. PVP/KLR için iletkenlik ölçümler hemen hemen birbirlerine yakın sonuçları vermişlerdir.



Şekil 4.1. PVP polimer çözeltisi iletkenlik sonuçları

4.2.2. Yüzey gerilimi ölçüm sonuçlarına ait analiz bulguları

Çizelge 4.5’de 18 adet farklı polimer konsantrasyona sahip çözeltilerin yüzey gerilimi ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

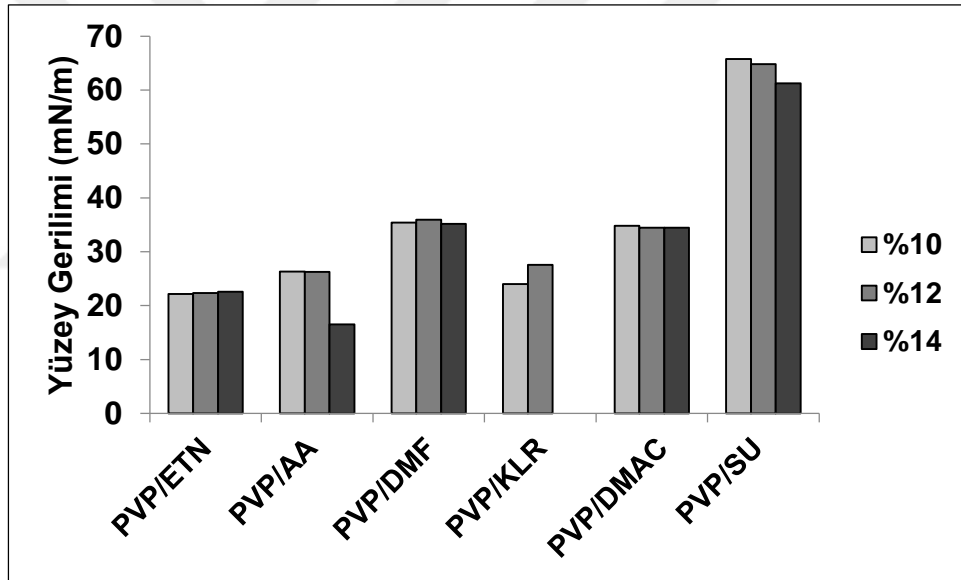
Çizelge 4.5. Polimer çözeltileri yüzey gerilimleri

Deney no	Yüzey gerilimi (mN/m)	Standart sapma (STD)
1	22.17	0.78
2	22.37	1.17
3	22.55	1.54
4	26.33	1.70
5	26.26	2.48
6	16.52	2.39
7	35.39	0.29
8	35.93	0.61
9	35.19	0.91
10	24.02	3.04
11	27.55	3.77
12	-	-
13	34.81	0.42
14	34.46	0.67
15	34.43	1.07
16	65.74	0.53
17	64.83	0.82
18	61.26	1.07

Şekil 4.2’de yüzey gerilimleri ölçümlerinde yapılan üç ölçüm sonucu ortalaması görülmektedir. Yapılan ölçümlere ait standart sapmalarda yine grafikten görülmektedir.

PVP/ETN ve PVP/KLR deneylerinde konsantrasyon artışı ile birlikte yüzey gerilimi artışı gözlenmesine karşın; PVP/AA, PVP/DMAC ve PVP/SU için yüzey gerilimi tespit edilmiştir. PVP/DMF için ise konsantrasyon ile yüzey gerilimi sonuçları arasında doğrudan bir ilişki gözlemlenmemektedir.

12. deney olan KLR ile yapılan % 10 konsantrasyondaki çözeltinin yüzey gerilimi ölçümü çözelti yoğunluğu yüksek olduğundan cihaz tarafından ölçümü yapılamamıştır.



Şekil 4.2. PVP polimer çözeltisi yüzey gerilimi sonuçları

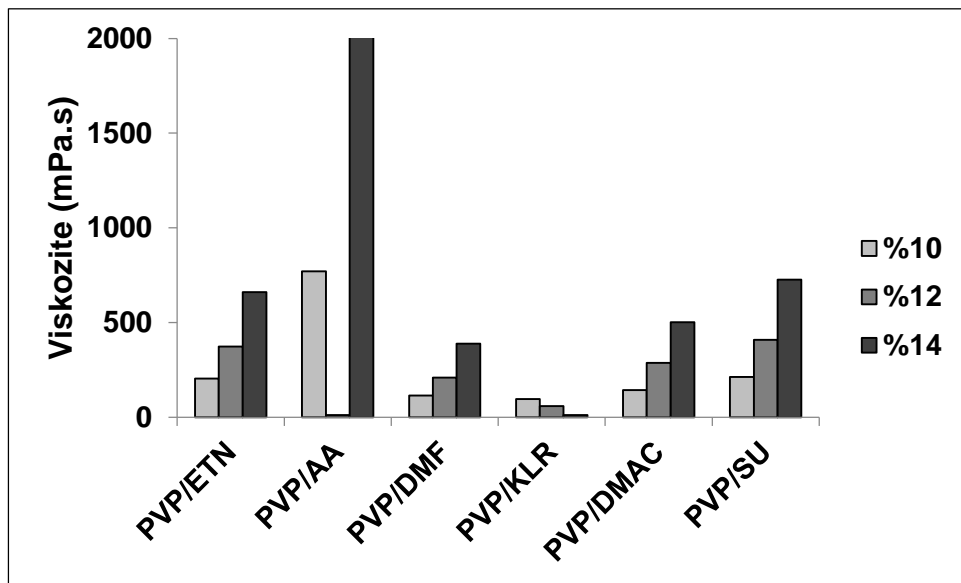
4.2.3. Viskozite özelliklere ait analiz bulguları

Yapılan 18 deneye ait viskozite ölçüm sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek viskoziteyi PVP/AA ile yapılan 6. test sonuçları 2011 mPa.s ile göstermişken, en düşük viskozite değerini PVP/KLR ile yapılan 12. test 10 mPa.s sonucu ile göstermektedir.

Çizelge 4.6. Polimer çözeltilerinin viskoziteleri

Deney no	Viskozite (mPa.s)
1	205
2	374
3	660
4	771
5	11
6	2011
7	115
8	209
9	388
10	96
11	59
12	10
13	143
14	287
15	502
16	213
17	408
18	726

Şekil 4.3'te viskozite ölçüm sonuçları görülmektedir. En yüksek viskoziteye sahip ölçüm sonuçları PVP/AA'ya aittir (2011 mPa). PVP/ETN, PVP/DMF, PVP/DMAC ve PVP/SU için konsantrasyon artışıyla birlikte viskozite artışı gözlemlenmektedir. Bu durum PVP/KLR ile tam ters özellik göstermekle birlikte; PVP/AA için konsantrasyon artışı ile viskozite artışının doğrudan ilişkisi söz konusu değildir.



Şekil 4.3. PVP polimer çözeltisi viskozite sonuçları

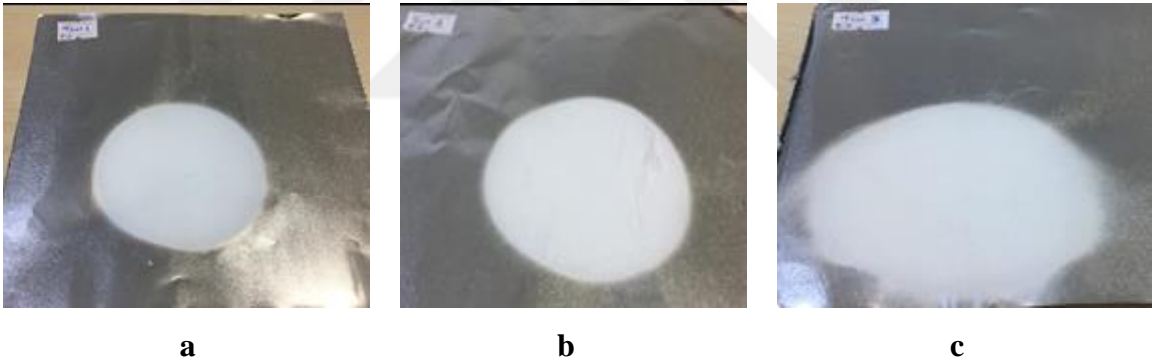
4.3. Nano lif Üretimine Ait Bulgular

4.3.1. Süreç Analiz Sonuçlarına Ait Bulgular

TY'de kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder.

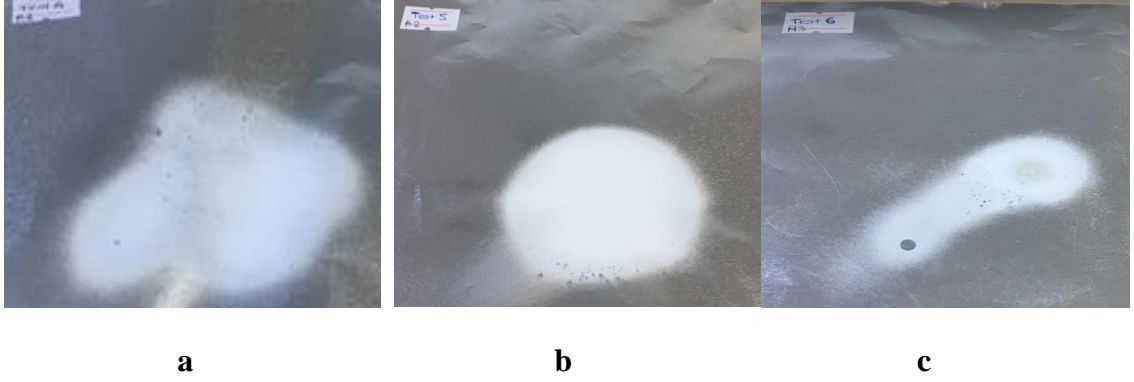
Aşağıdaki şekillerde lif çapı ölçümlerinin yapıldığı nano lifli yüzeyler görülmektedir. Nano lif üretiminden sonra düz levha üzerinde oluşturdukları geometrik şekiller bu görüntülerden incelenebilir.

Şekil 4.4'te görülen PVP/ETN nano lifli yüzey yapıları oldukça kararlı olduğu gözlenmiştir. Levha üzerinde lif oluşumu sırasında jet kararlılığı söz konusudur.



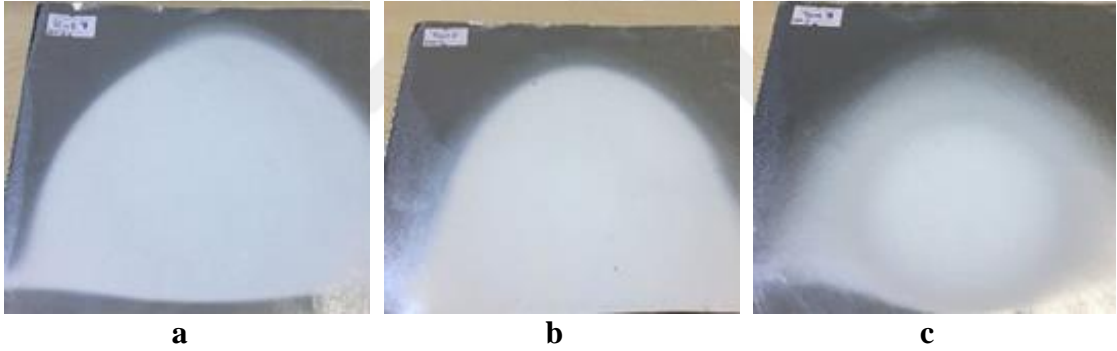
Şekil 4.4. PVP/ETN nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Şekil 4.5'te görülen PVP/AA nano lifli yüzeylere ait görüntülerde levha üzerinde oluşan nano lifler için kararlı bir yapı söz konusu değildir. Çözücü olarak AA kullanımıyla ortaya çıkan nano lif üretimi, ETN kullanımı ile ortaya çıkan nano lif üretimine göre daha kararsız bir şekilde levha üzerine yayılmış durumdadır.



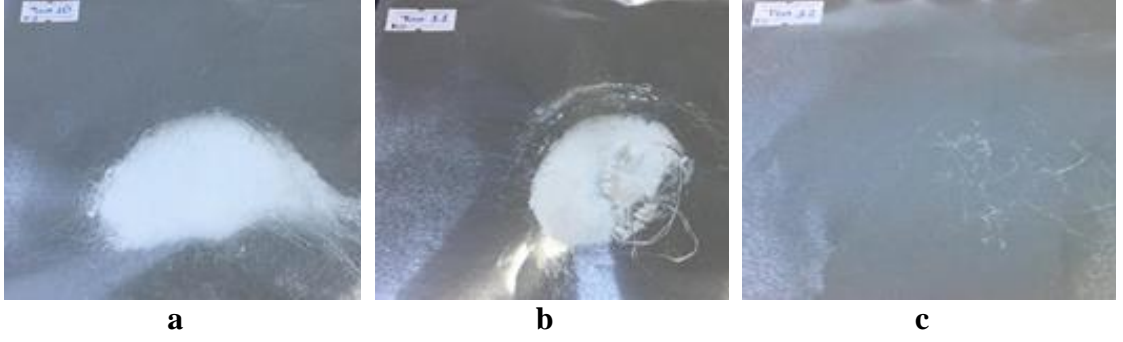
Şekil 4.5. PVP/AA nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Şekil 4.6'da görülen PVP/DMF nano lifli yüzeylere ait görüntülerden DMF ile elde edilen nano liflerin lif çekim performansı en yüksek olduğu gözlenmektedir. Lifler levha üzerinde geniş bir alanda kararlı bir şekilde nano lif yüzeyi oluşturmaktadır. Aynı zamanda % 10 PVP/DMF, % 14 PVP/DMF'e göre daha düzgün bir nano lif oluşum görüntüsü vermektedir.



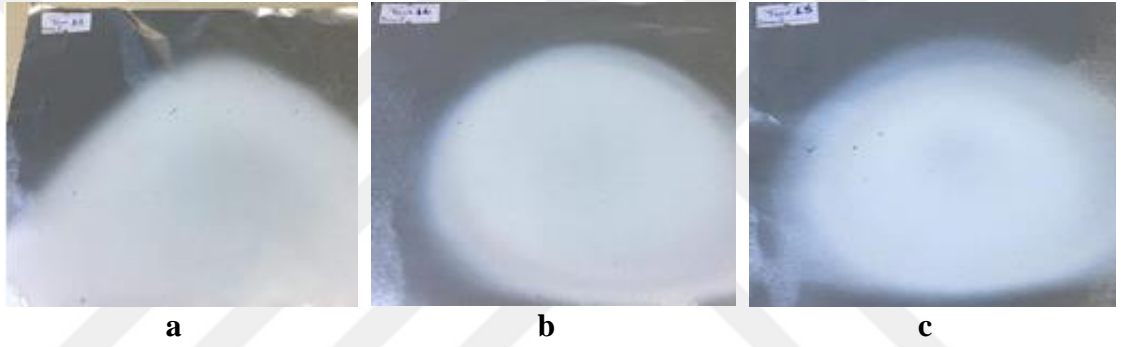
Şekil 4.6. PVP/DMF nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere PVP/KLR nano lifli nano lif oluşumu düzgün değildir. % 10 PVP konsantrasyonunda % 12 polimer konsantrasyonuna göre daha iyi nano lif oluşumu söz konusudur.



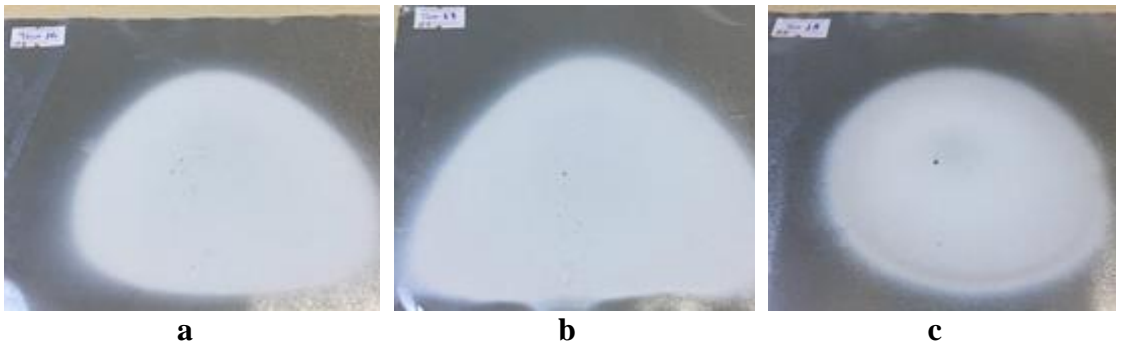
Şekil 4.7. PVP/KLR nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Şekil 4.8’de görülen PVP/DMAC nano lifli yüzeylerde kararlı bir yapı oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.8. PVP/DMAC nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Şekil 4.9’da görülen PVP/SU nano lifli yüzeylere ait görüntülerde oldukça kararlı nano lif oluşumu sözkonusudur.



Şekil 4.9. PVP/SU nano lifli yüzeylere ait görüntüler (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Elektro lif çekimi ile elde edilen liflerin SEM görüntülerinin IMAGE J programı ile analizi sonucu Çizelge 4.7.’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Ortalama lif çapı, üniformite katsayısı ve standart sapma sonuçları

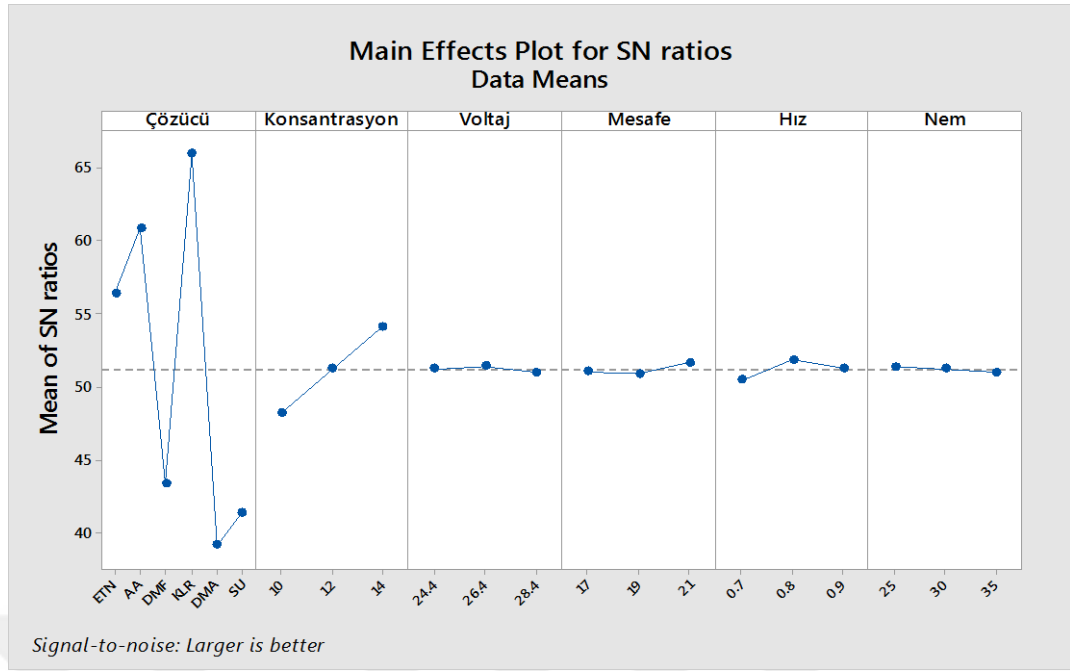
Deney no	Ortalama lif çapı (nm)	Lif çapı üniformite katsayısı	Standart sapma
1	443,5	1,018	60,25
2	688,45	1,016	89,02
3	948,13	1,040	191,05
4	802,51	1,026	129,87
5	1257,42	1,035	237,45
6	1320,49	1,011	138,03
7	108,04	1,078	30,37
8	129,09	1,087	38,18
9	233,93	1,098	73,72
10	1596,78	1,134	587,13
11	1865,85	1,132	680,28
12	2588,06	1,040	519,38
13	61,10	1,062	16,06
14	96,54	1,164	39,31
15	128,49	1,098	40,41
16	78,97	1,087	23,39
17	115,24	1,130	41,75
18	178,87	1,212	82,71

Belirlenen koşullara göre testler yapılmıştır. Gözlem değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Toplanan veriler, Minitab programının Taguchi analiz kısmında çözümlenmiş aşağıdaki veriler ve grafikler elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. Ölçüm değerleri

Deney no	Faktörler ve Seviyeleri						Lif Çapı (nm)	S/N
	Çözücü	Kons (%)	Voltaj (kV)	Mesafe (cm)	Hız (ml/s)	Nem (%)		
1	ETN	10	24.4	17	0.7	25	443,5	52,94
2	ETN	12	26.4	19	0.8	30	688,45	56,76
3	ETN	14	28.4	21	0.9	35	948,13	59,54
4	AA	10	24.4	19	0.8	35	802,51	58,09
5	AA	12	26.4	21	0.9	25	1257,42	61,99
6	AA	14	28.4	17	0.7	30	1320,49	62,42
7	DMF	10	26.4	17	0.9	30	108,04	40,67
8	DMF	12	28.4	19	0.7	35	129,09	42,22
9	DMF	14	24.4	21	0.8	25	233,93	47,38
10	KLR	10	28.4	21	0.8	30	1596,78	64,07
11	KLR	12	24.4	17	0.9	35	1865,85	65,42
12	KLR	14	26.4	19	0.7	25	2588,06	68,26
13	DMAC	10	26.4	21	0.7	35	61,10	35,72
14	DMAC	12	28.4	17	0.8	25	96,54	39,69
15	DMAC	14	24.4	19	0.9	30	128,49	42,18
16	SU	10	28.4	19	0.9	25	78,97	37,95
17	SU	12	24.4	21	0.7	30	115,24	41,23
18	SU	14	26.4	17	0.8	35	178,87	45,05

Şekil 4.10'da elde edilen sonuçlara göre lif çapını minimize etmek için; çözücü cinsi DMAC, polimer konsantrasyonu % 10, uygulanan voltaj 28.4, iğne ucu-toplayıcı levha arasındaki mesafe 17 cm, besleme hızı 0.7, ortam nemi % 30 değerleri en uygun değerlerdir.



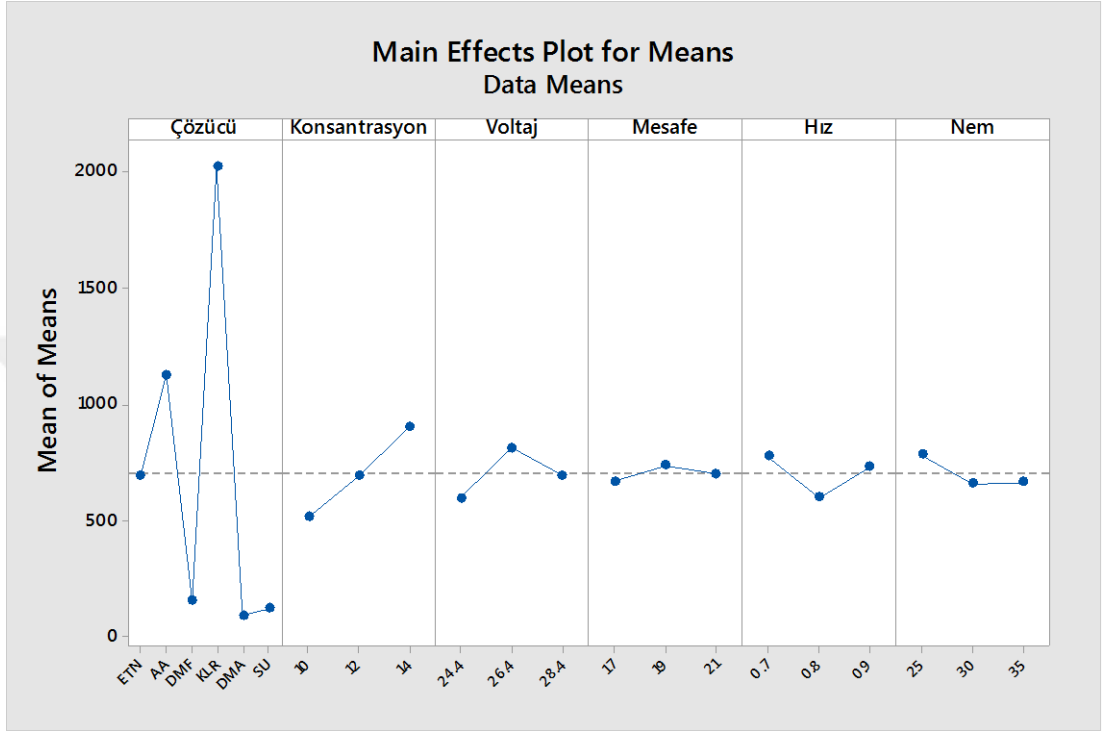
Şekil 4.10. İşlem parametrelerinin ortalama lif çapı için S/N oranı üzerine etkisi

Lif çapı artışında en etkili parametrenin çözücü cinsi olduğu gözlemlendi (Çizelge 4.9). Lif çapı çözücü cinsiyle doğrudan ilişkili olduğundan, çözücü cinsi lif çapı üzerinde direkt etkilidir ve lif çapında seçilen faktörler arasında birinci dereceden öneme sahiptir. Çizelge 4.9’de gösterilen S/N oranı sonuç tablosuna göre lif çapı üzerinde en etkili olan parametreler sırasıyla; çözücü cinsi, polimer konsantrasyonu, besleme hızı, iğne ucu-toplayıcı levha arasındaki mesafe, uygulanan voltaj ve ortam nemidir.

Çizelge 4.9. S/N oranı için sonuç tablosu

Seviye	Çözücü	PVP Kons.	Voltaj	Mesafe	Hız	Nem
1	56,41	48,24	51,21	51,03	50,46	51,37
2	60,83	51,22	51,41	50,91	51,84	51,22
3	43,42	54,14	50,98	51,65	51,29	51,01
4	65,91	-	-	-	-	-
5	39,20	-	-	-	-	-
6	41,41	-	-	-	-	-
Delta	26,72	5,90	0,43	0,75	1,38	0,36
Sıra	1	2	5	4	3	6

Şekil 4.11’de deneylerde uygulanan işlem parametrelerinin ortalama lif çapı için ortalamalar üzerinde etkilesi görülmektedir. Çözücü olarak KLR, % 14 konsantrasyon, 26.4 kV voltaj, elektrotlar arası mesafe 0.7 cm, % 25 nem seviyeleri en yüksek değerlere sahiptir.



Şekil 4.11. İşlem parametrelerinin ortalama lif çapı için ortalamalar üzerine etkisi

Çizelge 4.10. Ortalamalar için sonuç tablosu

Level	Çözücü	PVP Kons.	Voltaj	Mesafe	Hız	Nem
1	693,36	515,15	598,25	668,88	776,25	783,07
2	1126,81	692,10	813,66	735,93	599,51	659,58
3	157,02	899,66	569,90	702,10	731,15	664,26
4	2016,90	-	-	-	-	-
5	95,38	-	-	-	-	-
6	124,36	-	-	-	-	-
Delta	1921,52	384,51	215,40	67,05	176,73	123,49
Sıra	1	2	3	6	4	5

Lif çapı için ANOVA sonuçları Çizelge 4.11'da gösterilmektedir. Bu analiz % 5 anlamlılık düzeyi ve % 95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. ANOVA'da kontrol faktörlerinin önemi, her kontrol faktörünün F değerleri karşılaştırılarak belirlenir.

Çizelge 4.11. Lif çapı için ANOVA sonuçları

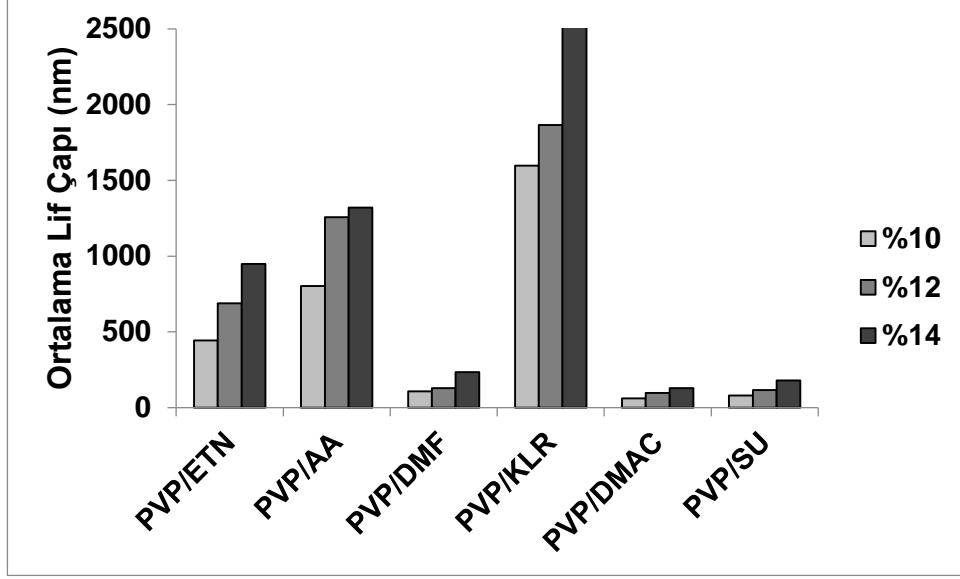
Kaynak	Serbestlik Derecesi (v)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (V)	F-Değeri	P-Değeri
Çözücü	5	8724453	1744891	48,80	0,020
PVP Kons.	2	444485	222242	6,22	0,139
Voltaj	2	139676	69838	1,95	0,339
Mesafe	2	13486	6743	0,19	0,841
Hız	2	101193	50597	1,42	0,414
Nem	2	71511	29387	0,82	0,549
Hata	2	71205	35755	-	-
Toplam	17	9553579	-	-	-

4.4. Nano Lif Esaslı Yüzeylerin SEM ile Karakterizasyonu Bulguları

Çalışmanın bu bölümünde, tek iğneli elektro lif çekim yöntemi ile Taguchi DT L18 ortogonal düzeneğine göre 6 faktörlü karışık seviyeli tasarımıyla üretilen nano esaslı lif yüzeyler SEM ile görüntüleri alınarak lif çapı, çap üniformitesi ve yüzey morfolojisi analizleri gerçekleştirilmiştir.

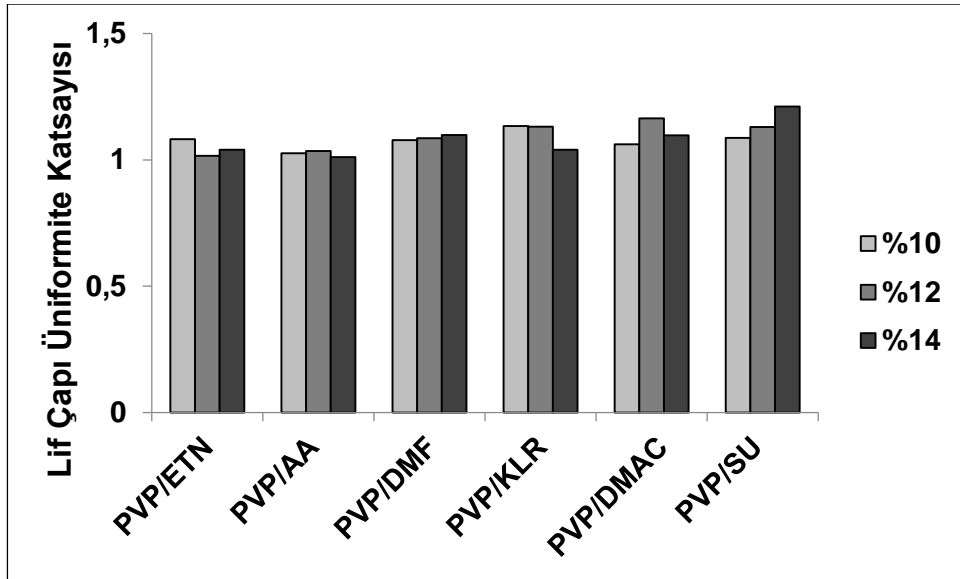
4.4.1. Lif çapı analizi bulguları

Yapılan çalışma kapsamında 18 deney ile gerçekleşen lif yapılarına ait SEM görüntüleri sonucunda Image J görüntü analiz programıyla değerlendirilmesi sonucu, lifler üzerinden 100 farklı örnek alınarak ortalama lif çapı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12'de yapılan 100 ölçüm sonucunda elde edilen ortalama lif çapları grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere; genel olarak konsantrasyon arttıkça lif çaplarında artış söz konusudur. PVP/DMAC ile elde edilen liflerde en ince çap görülmektedir (ortalama lif çapı: 61 nm) ve PVP/SU (ortalama lif çapı: 78 nm) %10 polimer konsantrasyonundan elde edilen liflerde görülmektedir



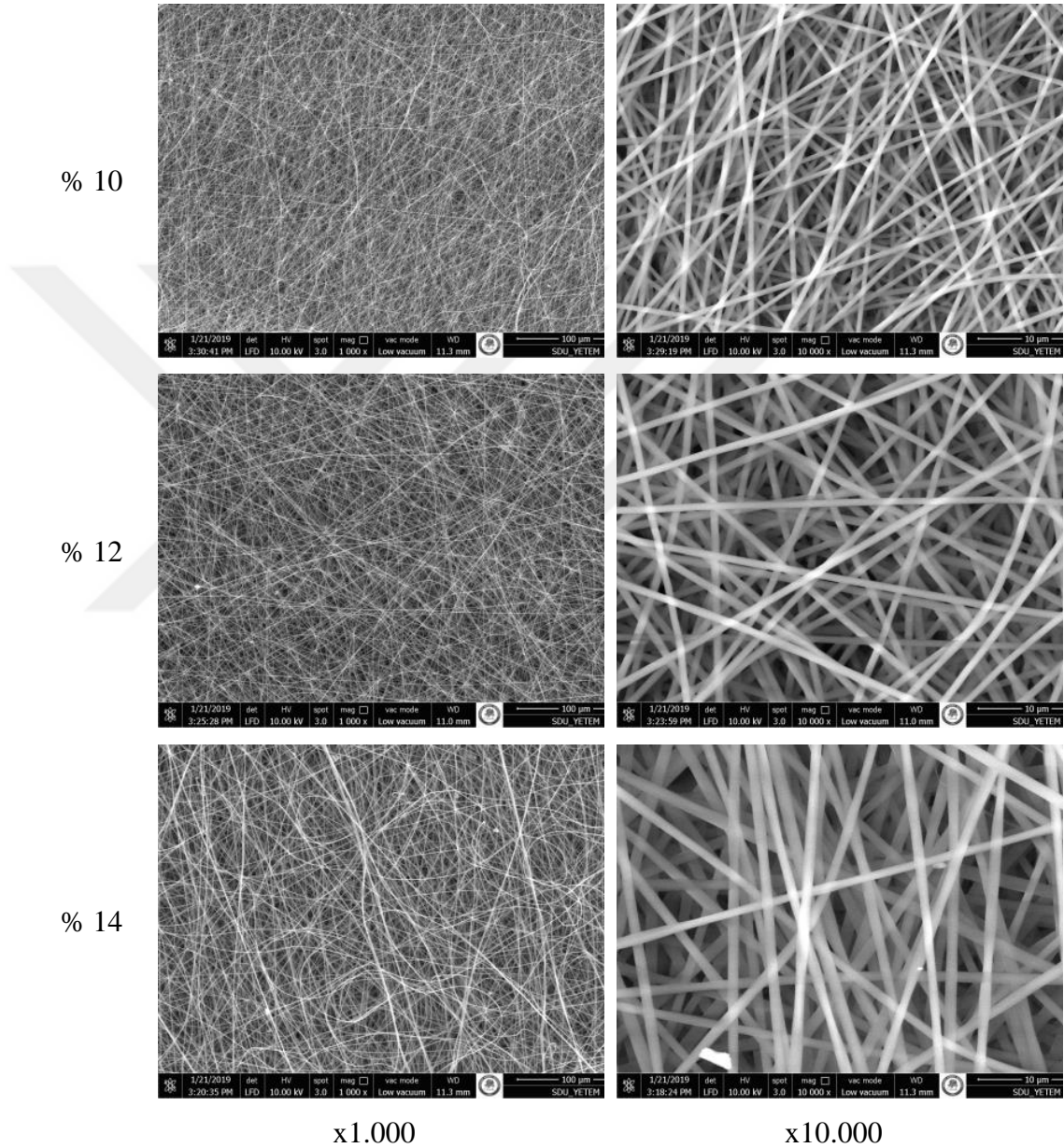
Şekil 4.12. Ortalama lif çapı ölçüm sonuçları

Şekil 4.13'te lif çapı üniformite katsayısı ölçüm sonuçları görülmektedir. PVP/SU genel olarak daha yüksek lif çapı üniformite katsayısına sahipken; en düşük değerler PVP/AA için elde edilmiştir. Lif çapı üniformite katsayısı 1'e yaklaştıkça liflerin daha düzgün şekilde dağılımı görülmektedir. % 14 konsantrasyondaki PVP/AA deneyinden elde edilen lif çapı üniformite katsayısı sonuçlarına göre 1'e en yakın değeri veren 1.011 ölçüm sonucu; bu liflerin en üniform dağılıma sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.13. Lif çapı üniformite katsayısı ölçüm sonuçları

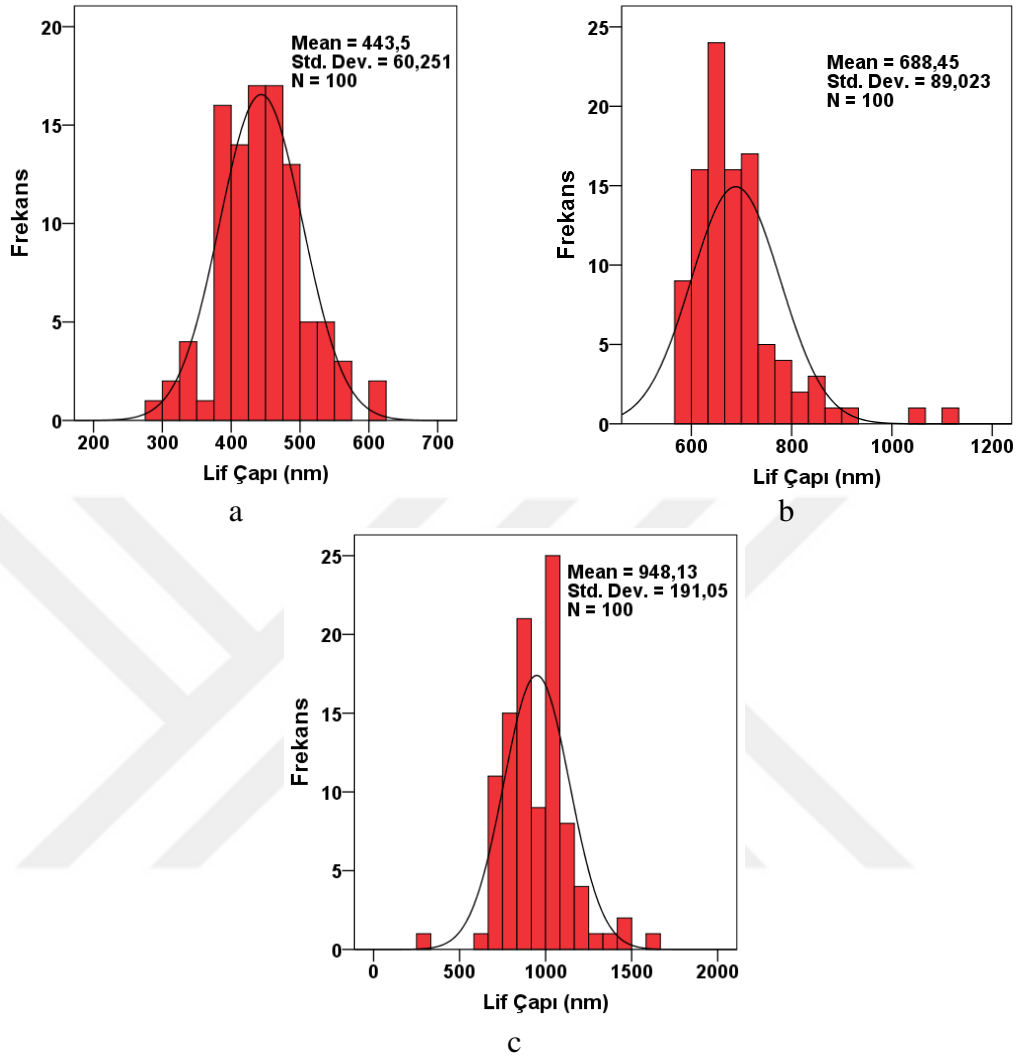
Taguchi deney tasarımına göre yapılan L18 ortogonal tasarımına göre gerçekleşen ilk 3 deney (% 10 PVP/ETN, % 12 PVP/ETN ve % 14 PVP/ETN) ile üretilen nano liflere ait SEM görüntüleri Şekil 4.14'te görülmektedir. ETN ile gerçekleştirilen bu deneylere ait görüntüler incelendiğinde her üç konsantrasyonda da oldukça düzgün (boncuksuz) nano lif üretiminin gerçekleştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. PVP/ETN çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri

SPSS istatistik programı kullanılarak, çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılımı grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4.15'de, Şekil 4.14'te SEM görüntüleri

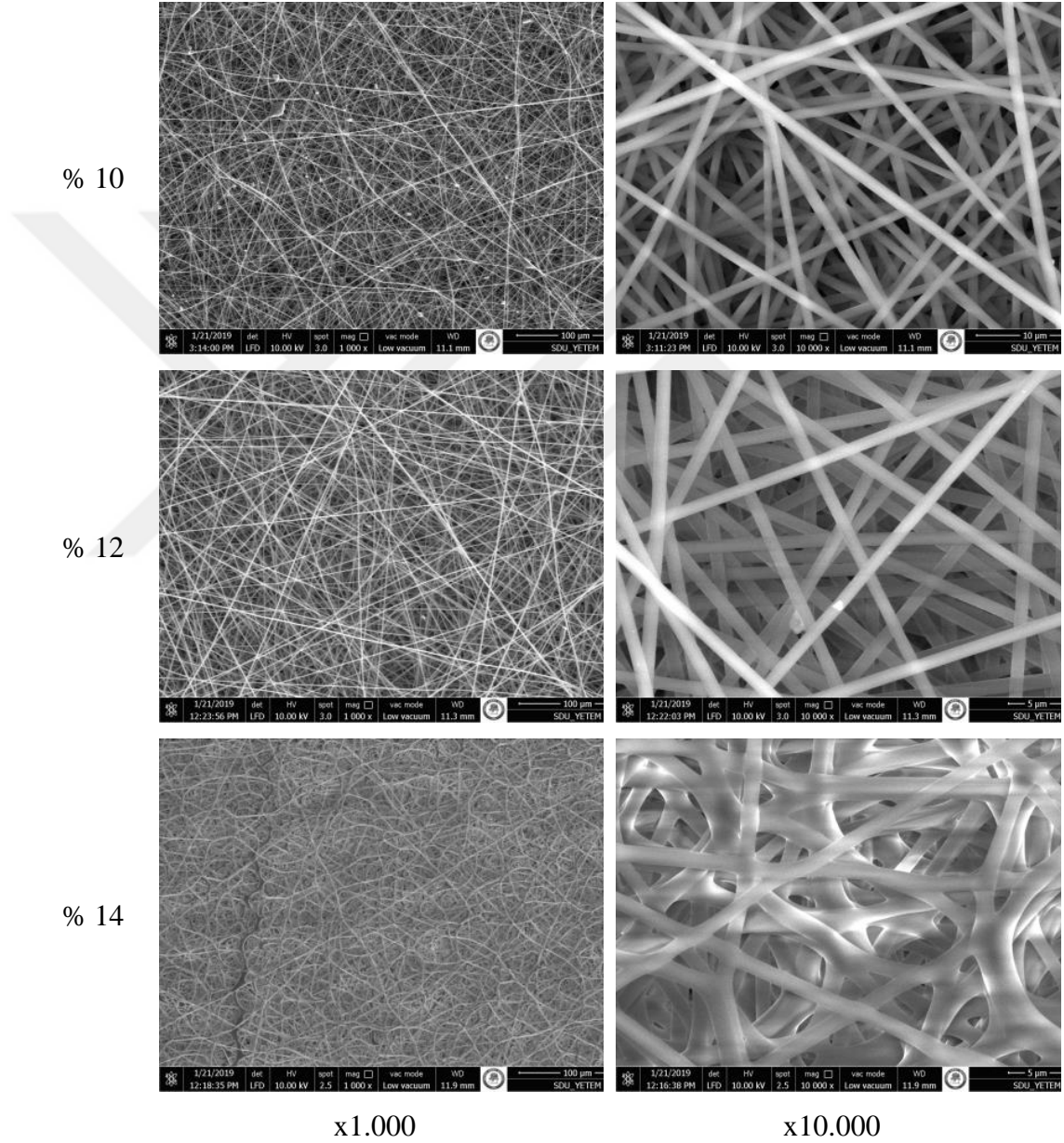
verilen PVP/ETN çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.15. PVP/ETN çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

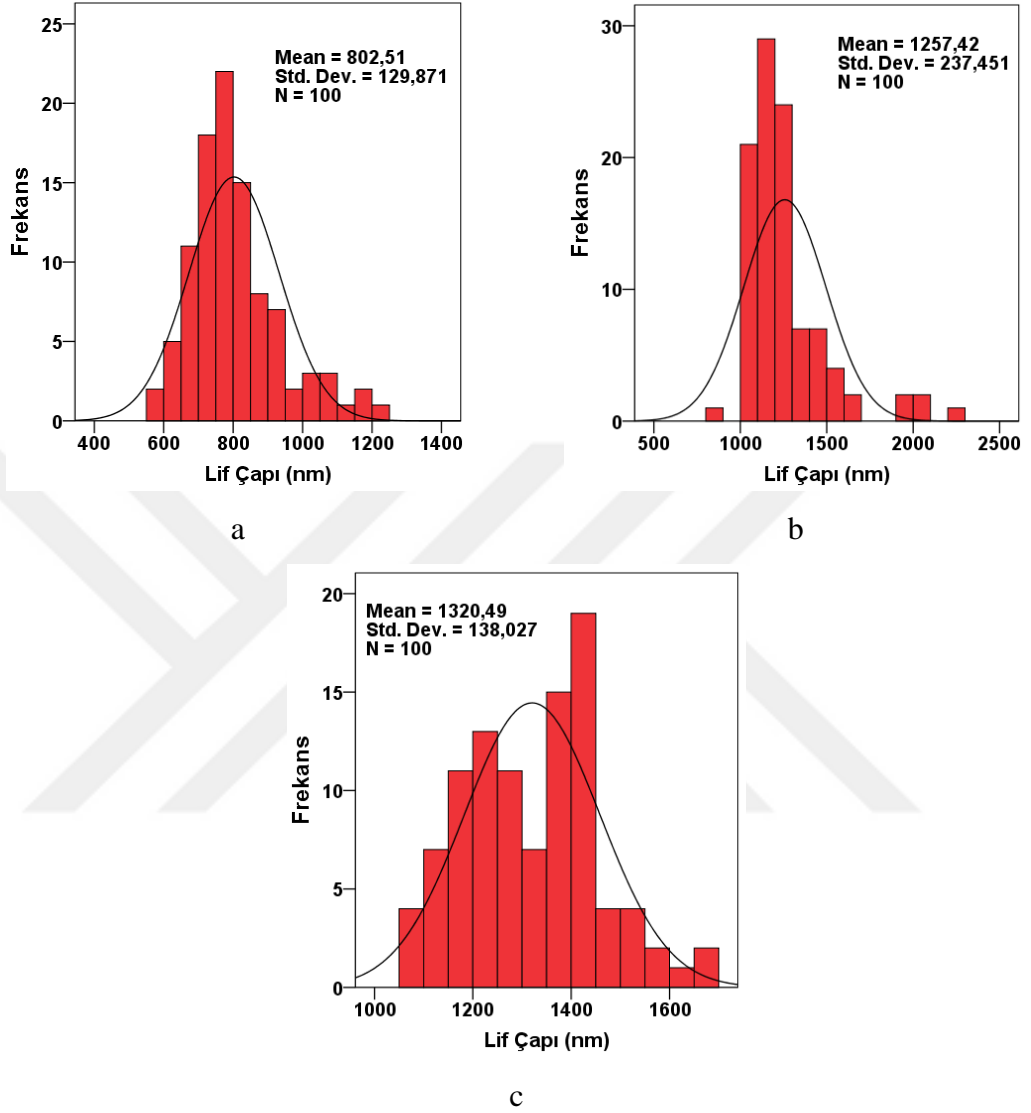
Şekil 4.15 incelendiğinde a: %10 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çaplarının minimum 290 nm ve maksimum 610 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı dağılım diyagramına göre liflerin büyük bir çoğunluğunun 430-460 nm arasında değişen çaplara sahip olduğu ve ünimodal lif çapı dağılımı olduğu görülmektedir. b: % 12 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çapları ise 780 nm çapında dağılımı görülürken; lif çapları minimum 580 nm ve maksimum 1150 nm olduğu görülmektedir. c: % 14 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çapları değerleri en inceden en kalına doğru 460-1600 nm arasında değişmekte ve liflerin büyük çoğunluğu 140-420 nm arasında değişen çaplara sahiptir.

Şekil 4.16'da ise AA ile yapılan deneylerden elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri yer almaktadır. % 10 ve % 12 konsantrasyondaki deney 4 ve deney 5 ile üretimi gerçekleşen nano liflerin oldukça düzgün bir yapıda olduğu gözlenirken, % 14 AA ile hazırlanan PVP polimer çözeltisi ile gerçekleşen deney 6 düzeneği sonucu oluşan nano liflerin yapısının homojen olmayıp, yapışkan yapı oluşumu tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. PVP/AA çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri

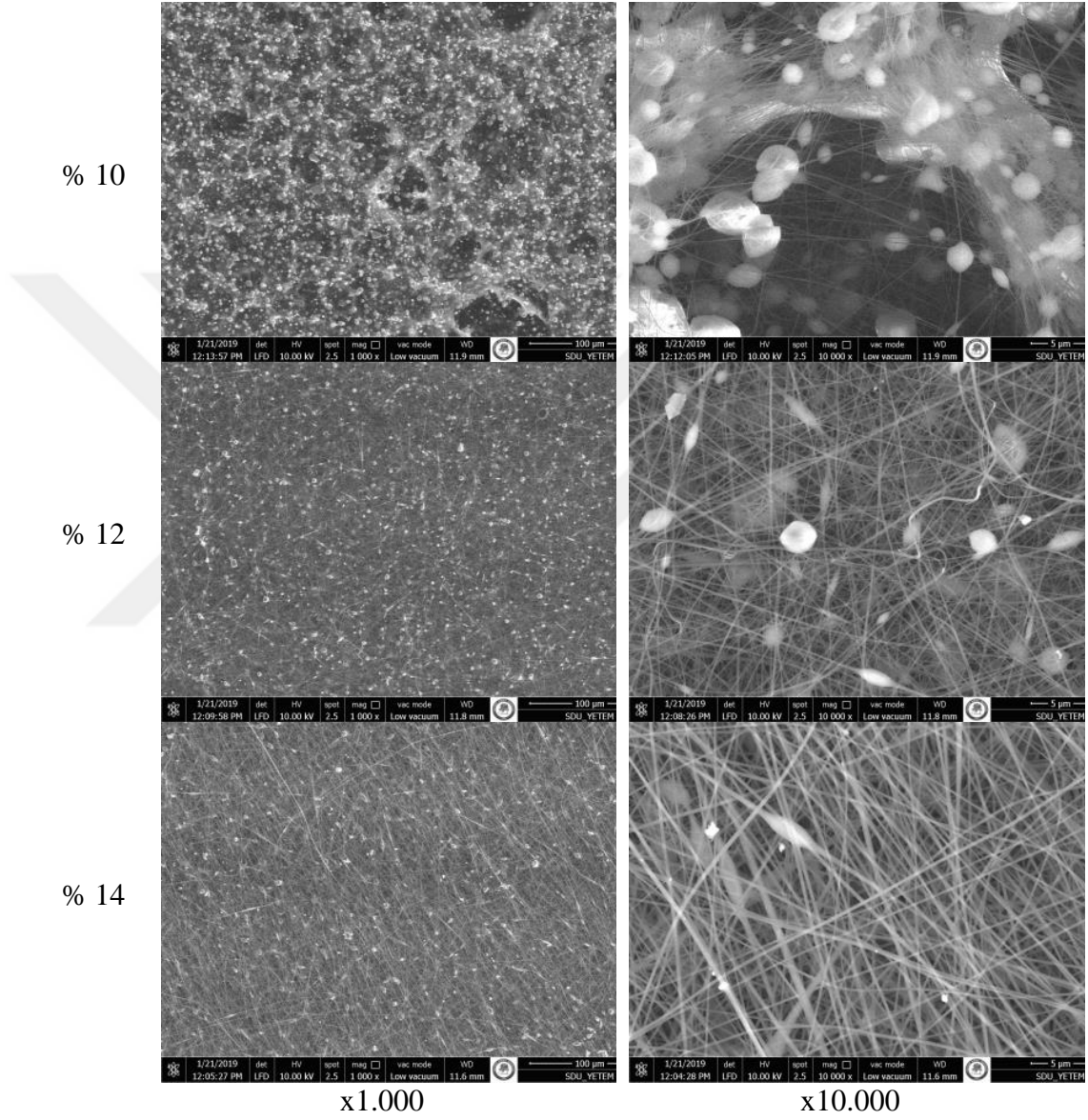
Şekil 4.17’de, Şekil 4.16’da SEM görüntüleri verilen PVP/AA çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.17. PVP/AA çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

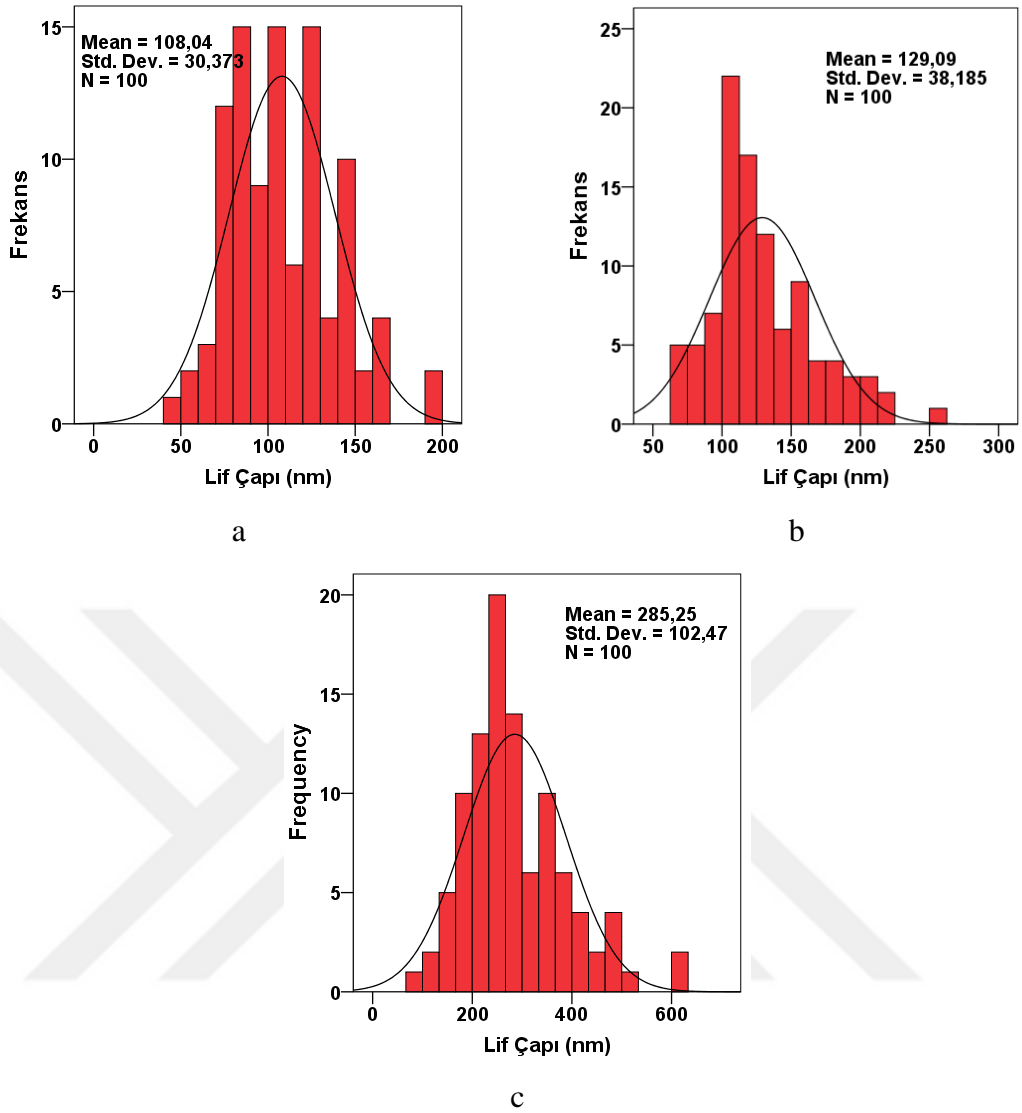
Şekil 4.17 incelendiğinde a: %10 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çaplarının minimum 580 nm ve maksimum 1220 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı dağılım diyagramına göre liflerin büyük bir çoğunluğunun 760-800 nm arasında değişen çaplara sahip olduğu ve ünimodal lif çapı dağılımı olduğu görülmektedir. b: % 12 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çapları ise 1200 nm civarında dağılımı görülürken, c: % 14 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çapları yaklaşık 1300 nm dir ve düzensiz bir lif çapı dağılımına sahiptir..

Şekil 4.18’de DMF ile yapılan deneylerden elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri yer almaktadır. % 10 PVP (deney 7) aşırı boncuklu yapısına karşın, % 12 PVP de (deney 8) daha az boncuklu yapı gözlenmiş olup; 9. deney olan % 14 PVP de boncuklu yapı yerine daha düzgün nano lif yapısı tespit edilmiştir. Genel olarak DMF kullanılarak yapılan deneylerde ortalama lif çapı düşüktür.



Şekil 4.18. PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri

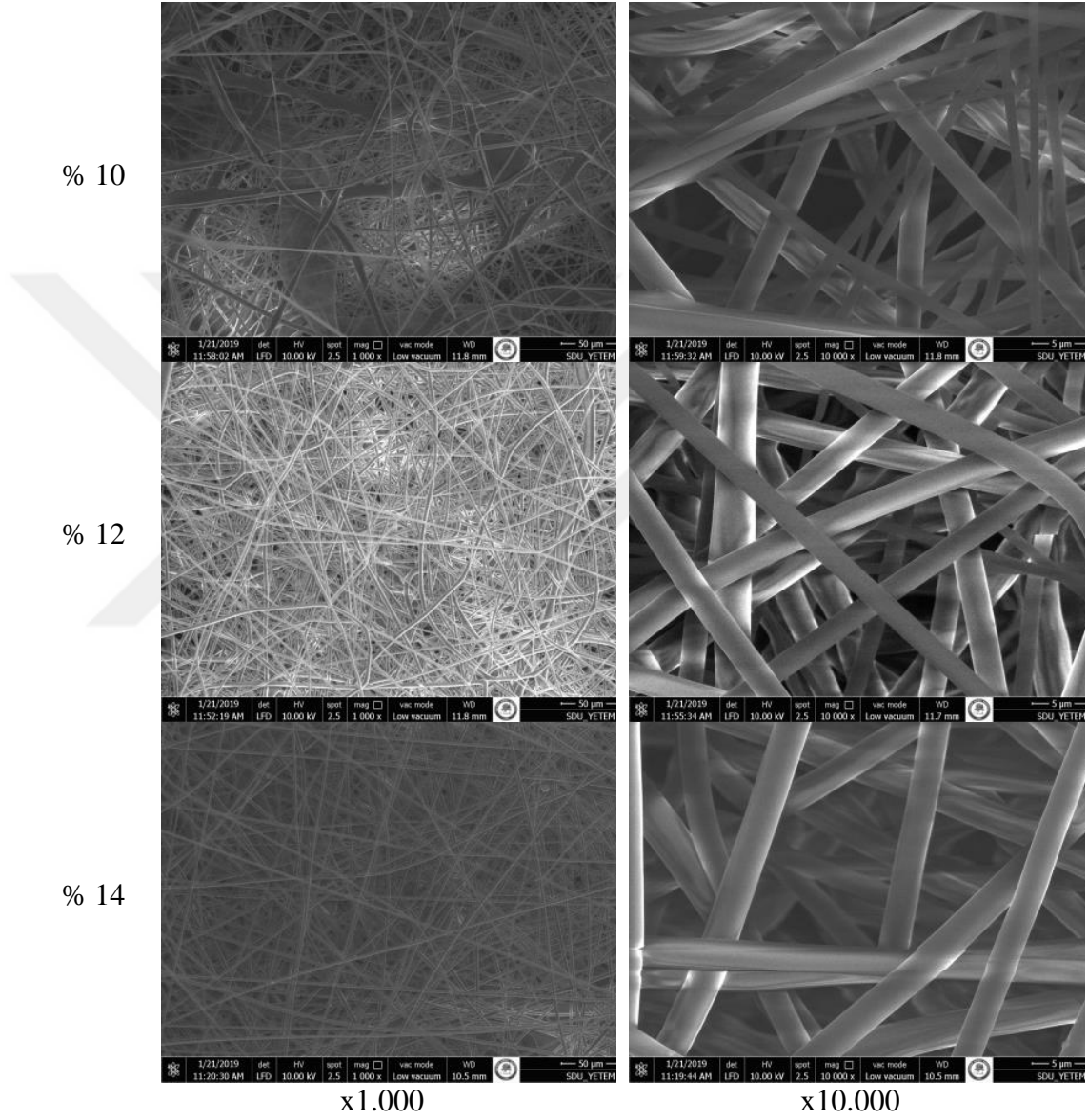
Şekil 4.19’da, Şekil 4.18’de SEM görüntüleri ta verilen PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.19. PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

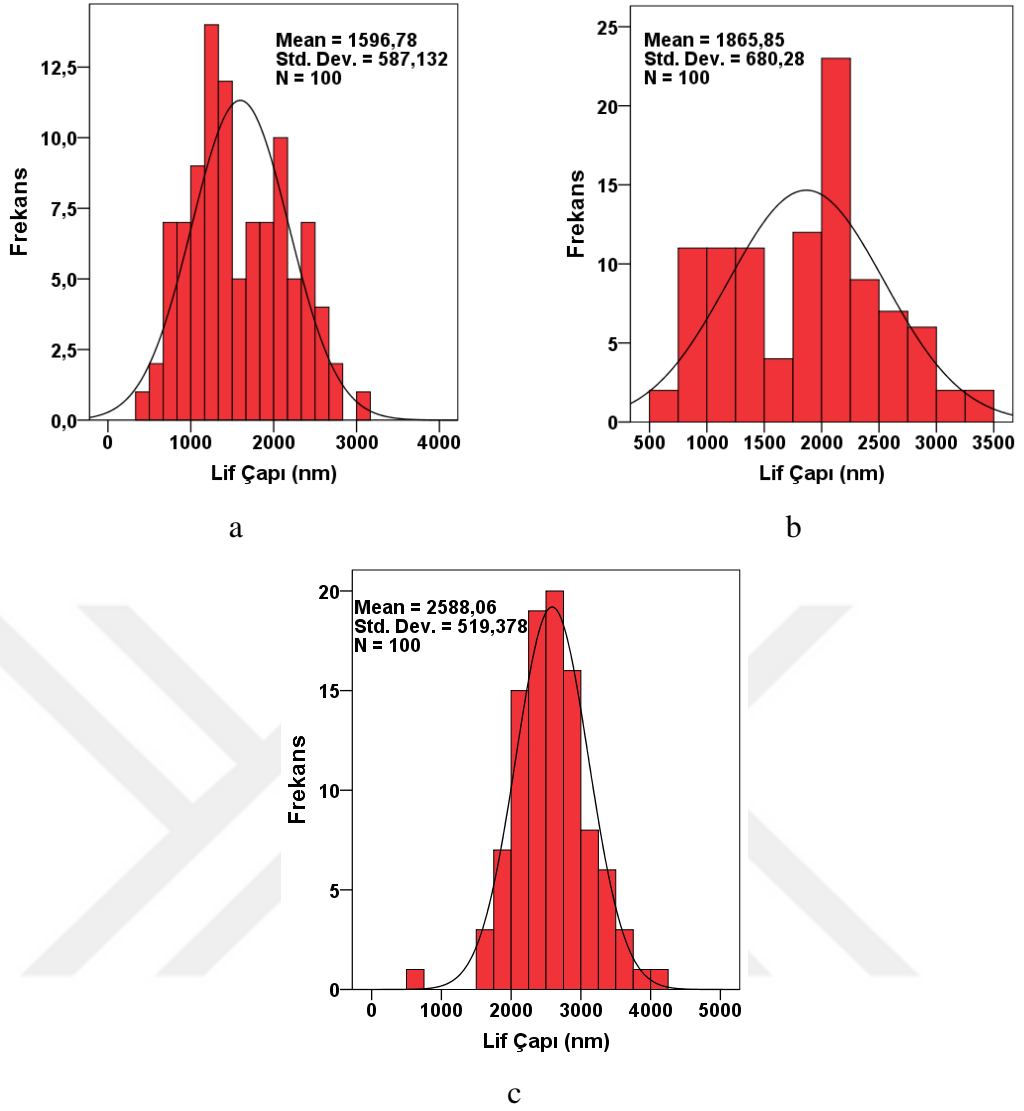
Şekil 4.19 incelendiğinde a: %10 konsantrasyonundaki çözeltiden elde edilen lif çaplarının minimum 40 nm ve maksimum 200 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı dağılım diyagramına göre liflerin büyük bir çoğunluğunun 80-130 nm arasında değişen çaplara sahip olduğu ve ünimodal olmayan bir lif çapı dağılımı olduğu görülmektedir. b: % 12 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 100-130 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 60 nm ve maksimum 260 nm olduğu görülmektedir. c: % 14 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 200-300 nm çapında olup ünimodal bir lif çapı dağılımı söz konusudur; lif çapları minimum 80 nm ve maksimum 620 nm olduğu görülmektedir.

Şekil 4.20’de KLR ile yapılan deneylerden elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri yer almaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde % 10 PVP, %12 PVP, % 14 PVP de düzgün nano lif yapısı elde edilmesine karşın lif çapı oldukça yüksek nano lifler olduğu gözlenmiştir. KLR çözücüsü ile yapılan deney 10, 11, 12 ye ait görüntülerden nano liflerin lif morfolojisinin düzgün olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. PVP/KLR çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri

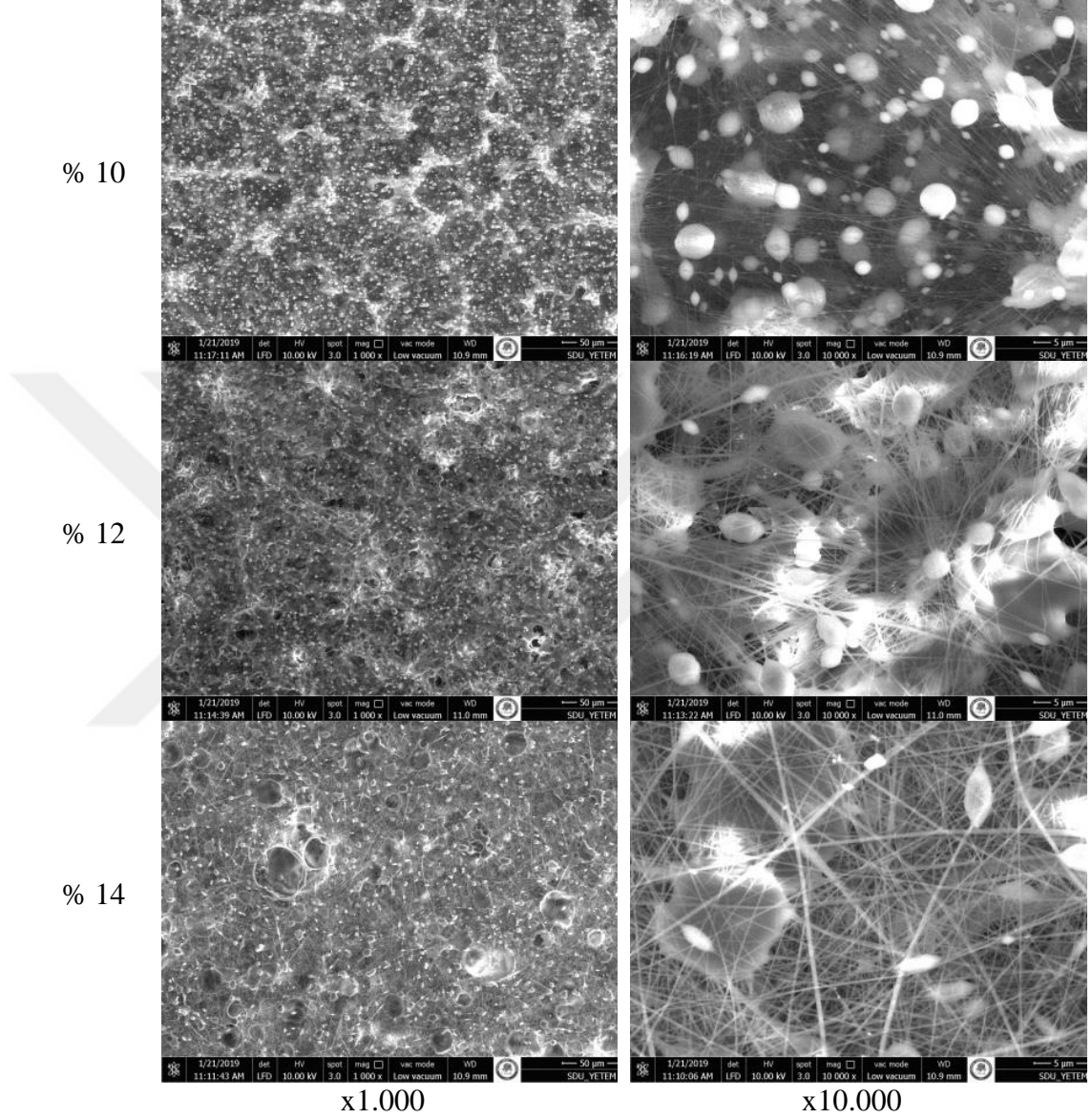
Şekil 4.21’de, Şekil 4.20,’da SEM görüntüleri verilen PVP/KLR çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.21. PVP/DMF çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

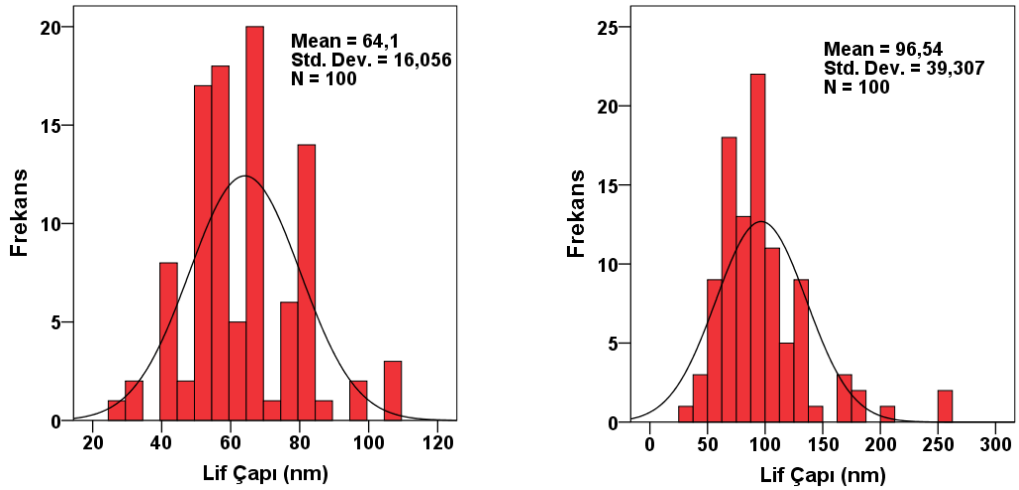
Şekil 4.21 incelendiğinde a: %10 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çaplarının minimum 80 nm ve maksimum 3100 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı dağılım diyagramına göre liflerin büyük bir çoğunluğunun 1400-1500 nm arasında değişen çaplara sahip olduğu görülmektedir. b: % 12 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre düzensiz ve ünimodal olmayan bir lif çapı dağılımı söz konusu olup liflerin büyük bir çoğunluğu 2000 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 500 nm ve maksimum 3500 nm olduğu görülmektedir. c: % 14 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 2400-2600 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 900 nm ve maksimum 4100 nm olduğu görülmektedir.

Şekil 4.22’de DMAC ile yapılan deneylerden elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri yer almaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde %10 PVP/DMAC, % 12 PVP/DMAC, % 14 PVP/DMAC’da boncuklu nano lif yapısı oluşumu gözlenmiştir.



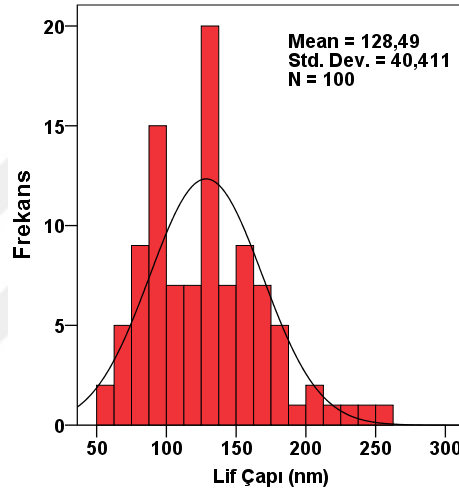
Şekil 4.22. PVP/DMAC çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.23’te, Şekil 4.22’de SEM görüntüleri verilen PVP/DMAC çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramı verilmiştir.



a

b

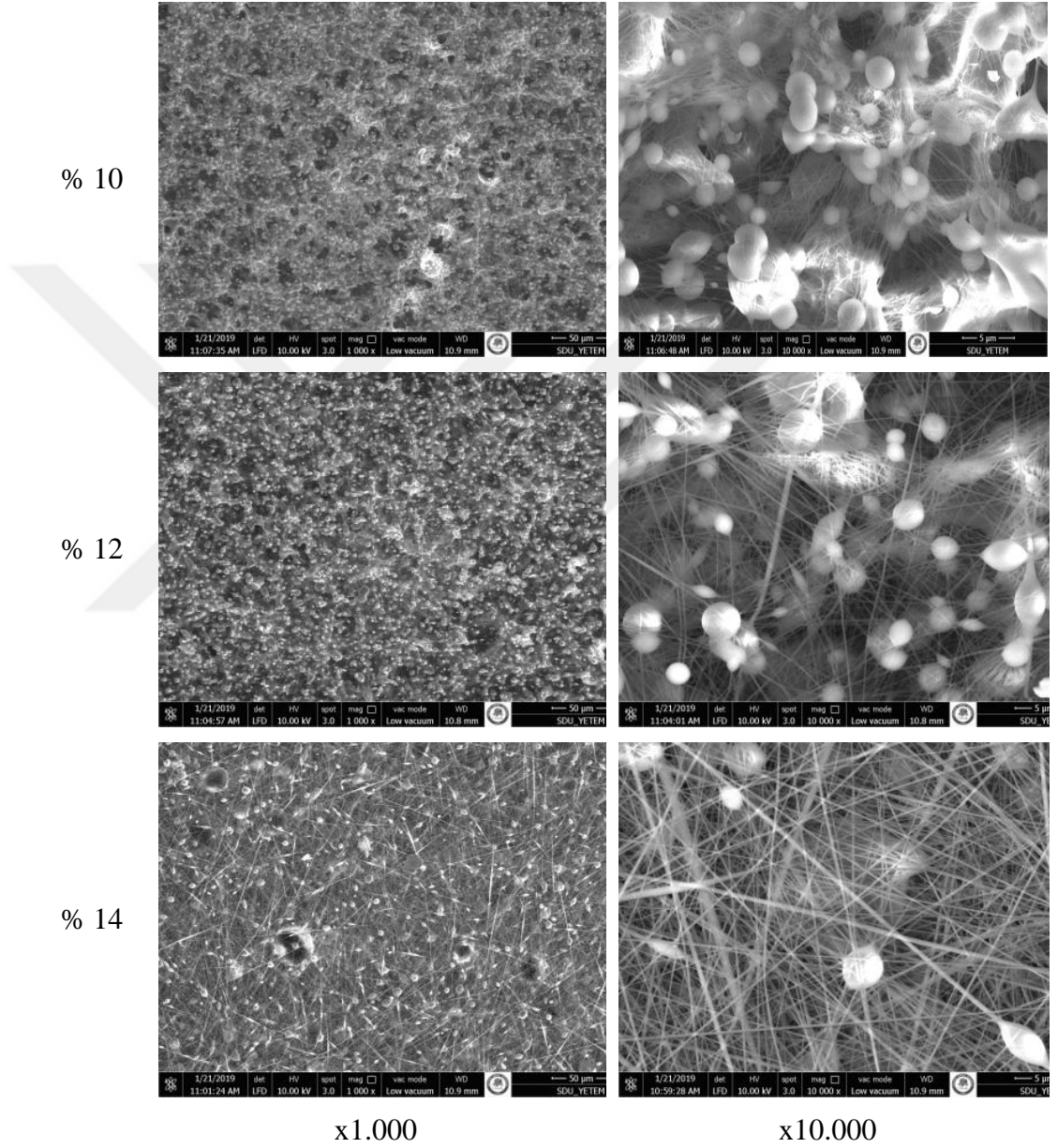


c

Şekil 4.23. PVP/DMAC çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

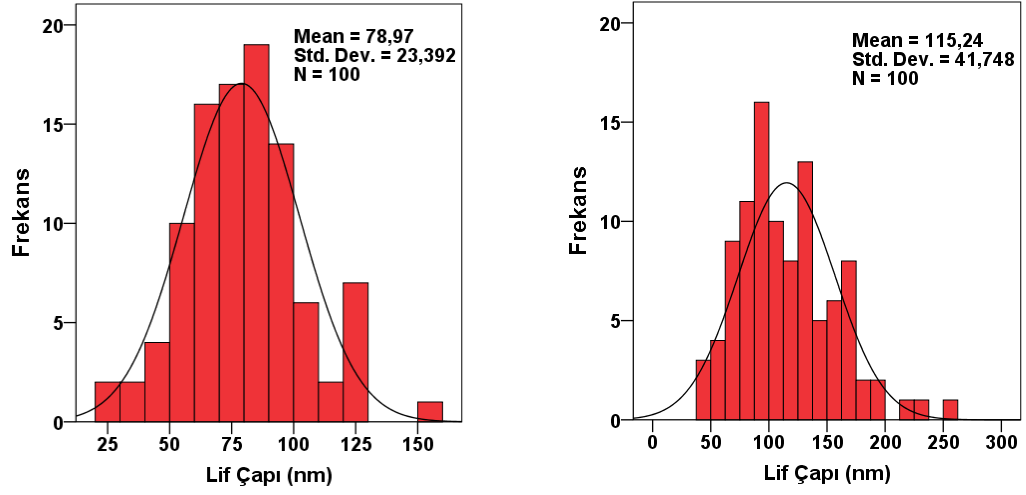
Şekil 4.23 incelendiğinde a: %10 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çaplarının minimum 25 nm ve maksimum 150 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı dağılım diyagramına göre liflerin büyük bir çoğunluğunun 65 nm civarında değişen çaplara sahip olduğu ve ünimodal lif çapı dağılımı olduğu görülmektedir. b: % 12 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 90-110 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 30 nm ve maksimum 260 nm olduğu görülmektedir. c: %14 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 130-150 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 50 nm ve maksimum 260 nm olduğu görülmektedir.

Şekil 4.24'te saf su ile yapılan deneylerden elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri yer almaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde % 10 PVP, % 12 PVP, % 14 PVP de boncuklu nano lif yapısı elde edildiği gözlenmiştir. Ancak % 14 PVP ait olan deney 18 in görüntüsünden diğer konsantrasyonlarda DMAC çözücüsüyle üretilen nano liflere göre daha az boncuklu yapısı ile birlikte daha ince lif yapısı tespit edilmiştir.



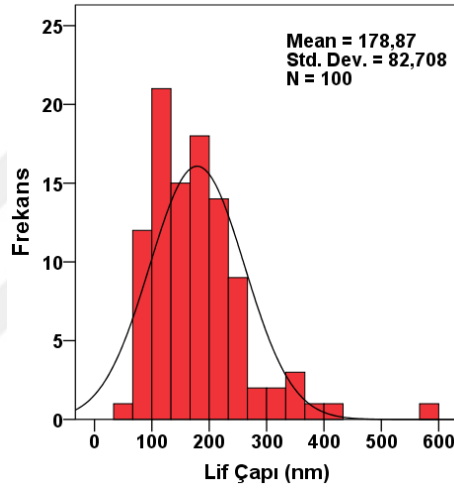
Şekil 4.24. PVP/SU çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.25'te, Şekil 4.24'te SEM görüntüleri verilen PVP/SU çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramı verilmiştir.



a

b



c

Şekil 4.25. PVP/SU çözeltilerinden elde edilen nano liflere ait histogram grafikleri (a: % 10, b: % 12, c: % 14).

Şekil 4.25 incelendiğinde a: %10 konsantrasyondaki çözeltiden elde edilen lif çaplarının minimum 25 nm ve maksimum 160 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı dağılım diyagramına göre liflerin büyük bir çoğunluğunun 60-90 nm arasında değişen çaplara sahip olduğu ve ünimodal lif çapı dağılımı olduğu görülmektedir. b: % 12 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 90-140 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 40 nm ve maksimum 260 nm olduğu görülmektedir. c: % 14 konsantrasyondaki çözelti lif çapı dağılım grafiğine göre liflerin büyük bir çoğunluğu 100-240 nm çapında olduğu görülürken; lif çapları minimum 50 nm ve maksimum 600 nm olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, elektro lif çekim yöntemiyle nano lif üretiminde, deney tasarımına farklı bir bakış açısı getiren Taguchi Yöntemi (TY) uygulanmıştır. Taguchi, geliştirdiği ortogonal dizinler sayesinde yapılacak olan deney sayısını önemli ölçüde azaltıp ve bununla birlikte zaman ve maliyet bakımından kazanç sağlamaktadır. Bu tez kapsamında TY kullanılarak uygulanan deney tasarımı ile hedeflenen amaca (optimum proses parametrelerinde en ince ve en üniform lifler) ulaşmak mümkün olmuştur. Elektro lif çekimi düzeneğinde yapılan deneyler sonucu elde edilecek nano lif çaplarını en küçükleyen ve aynı zamanda düzgün lif morfolojisini oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Uygulamada problem belirlendikten sonra süreçte değişkenlik yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörler belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elektro lif çekim işlemini etkileyen parametreler (polimer konsantrasyonu, çözücü cinsi, uygulanan voltaj, iğne-toplayıcı levha arasındaki mesafe, besleme hızı, ortam nemi) ve bu faktörlere ait seviyeler belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen faktörler 6 adet ve 1 faktör 6 seviyeli, 5 faktör 3'er seviyeli olmak üzere L18 ortogonal dizini kullanılmıştır. Normal şartlarda bu deneyi yapmak için $(6^1) \cdot (3^5)$ kere yani 1458 kez gözlem almak gerekir. Taguchi ortogonal dizinleri sayesinde tek bir gözlem için bu sayı 18'e düşmektedir. Bu durum büyük ölçüde zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır. L18 ortogonal dizinindeki gözlem değerlerinden hareketle performans istatistikleri hesaplanmıştır. Performans karakteristiği üzerinde önemli etkisi olan faktörleri belirlemek amacıyla MINITAB 2018 paket programı kullanılmış, ANOVA analizi ve hesap tablosu analizi yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda tüm faktörlerin performans üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Faktör ve seviyelerinin en iyi değerlerini bulmak için MINITAB 2018 paket programı kullanılmış ve çıkan sonuçlara göre A1B2C5D6 seviyelerinin en iyi değeri vereceği tahmin edilmiştir. Ancak uygulanan L18 ortogonal düzeneğinde solvent çeşidi 6 seviyeli olduğundan, 3'er seviyede bulunan diğer 5 faktörü baskılayarak etkilerinin ortaya çıkmasına engel olmuştur.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; ortalama lif çapı sonuçlarına göre (Bkz. Şekil 4.12) PVP/DMF, PVP/DMAC, PVP/SU çözeltilerinden elde edilen nano liflerin ortalama lif çapları PVP/ETN, PVP/AA, PVP/KLR çözeltilerinden elde edilen nano liflerin ortalama lif çaplarından düşüktür. Hatta ortalama lif çapı

sonuçlara göre; PVP/AA ve PVP/KLR çözeltilerinden elde edilen liflerin ortalama lif çapları yüksek olduğundan bu lifler mikro lifler olarak değerlendirilebilir. Örneğin; % 12 PVP/AA ortalama lif çapı 1257,42 nm ve % 14 PVP/AA için 1320 nm dir. En ince lif oluşumu ise PVP/DMAC (ortalama lif çapı: 61 nm) ve PVP/SU (ortalama lif çapı: 78 nm) %10 polimer konsantrasyonundan elde edilen liflerde görülmektedir. Aynı zamanda PVP konsantrasyonu arttıkça ortalama lif çapları artmaktadır.

Lif çapı üniformite katsayısı sonuçlarına (Bkz. 4.13) göre ise en üniform nano lifler % 10 PVP/AA (1,011) ve % 12 PVP/ETN (1,016) çözeltilerinden elde edilmiştir. Ortalama lif çapları da değerlendirildiğinde sırasıyla 1320,49 nm ve 688,45 nm dir.

Histogram eğrilerine bakıldığında, ölçüm sonuçları için genel olarak ünimodal (tek tepeli) histogramlar elde edilmiştir. Ancak her bir ölçüm için ortalama lif çapı sonuçları farklılık göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde (ortalama lif çapı, lif çapı üniformite katsayısı, morfoloji) % 12 PVP/ETN ile üretimi gerçekleştirilen lifler hem ince lif çapına sahip olmakla birlikte; aynı zaman boncuksuz bir yüzeye sahip olduğundan optimum değerlere sahip olduğu gözlenmektedir.

Gelecek çalışmalara yönelik olarak; Taguchi yöntemiyle farklı polimer kullanarak elektro lif çekim yöntemi uygulanabilir, proses parametreleri üzerinde optimalite sağlanabilir. Elektro lif çekimini etkileyen diğer parametreler üzerinde uygulanacak Taguchi yöntemi ise proses koşullarını iyileştirmekle birlikte; yöntemin yapılan toplam deney sayısını azaltmasından dolayı getirdiği avantajlardan yararlanılabilmektedir. Faktörlerin birbirine yakın seviyeli Taguchi ortogonal düzeneği olarak L18 (1 faktör 2 seviye-5 faktör 3 seviye) tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

- Aktan, C.C., 2012. Organizasyonlarda toplam kalite yönetimi. Organizasyon Ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 4 (2), 235-262.
- Albetran, H., Dong, Y., Low, I. M., 2015. Characterization and optimization of electrospun TiO₂/PVP nanofibers using Taguchi design of experiment method. Journal of Asian Ceramic Societies, 3(3), 292-300.
- Alimohammadi, F., Gashti, M. P., & Mozaffari, A. (2018). Polyvinylpyrrolidone/Carbon Nanotube/Cotton Functional Nanocomposite: Preparation and Characterization of Properties. Fibers and Polymers, 19(9), 1940-1947.
- Angammana, C. J., Jayaram, S. H., 2016. Fundamentals of electrospinning and processing technologies. Particulate Science and Technology, 34(1), 72-82.
- Aykut, Y., 2013. Poliakrilonitril nano lifler içerisinde altıgen kobalt sülfür nanoplaka sentezi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 18(2), 47-54.
- Burger, C., Hsiao, B. S., & Chu, B., 2006. Nanofibrous materials and their applications. Annu. Rev. Mater. Res., 36, 333-368.
- Celep, Ş., Koç, E., 2007. Nanoteknoloji Ve Tekstilde Uygulama Alanları. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 171s, Adana.
- Cengiz-Çallıoğlu, F., 2011. Silindirli elektro lif çekim yöntemi ile poliüretan nano lif üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 203s, Isparta.
- Chou, K. S., Lai, Y. S., 2004. Effect of polyvinyl pyrrolidone molecular weights on the formation of nanosized silver colloids. Materials Chemistry and Physics, 83(1), 82-88.
- Çaydamlı, Y., 2012. elektrospinning yöntemi ile biyopolimer esaslı nanoyapıların hazırlanması ve karakterizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 177s, İzmir.
- Çolak T., 2007. İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Uygulamalar. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Adana.
- Deitzel, J.M, Kleinmeyer, J., Harris D., Beck Tan, N.C., 2001. The effect of processing variable on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. Polymer 42(1), 261–272.

- Dong, Y., Bickford, T., Haroosh H.J., Lau, K.T., Takagi, H., 2013. Multi-response analysis in the material characterisation of electrospun poly (lactic acid)/halloysite nanotube composite fibres based on Taguchi design of experiments: fibre diameter, non-intercalation and nucleation effects. *Applied Physics A*, 112, 747-757.
- Duduhan, T., 2009. Taguchi deney tasarımı uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, Isparta.
- Elkasaby, M., Hegab, H. A., Mohany, A., & Rizvi, G. M. (2018). Modeling and optimization of electrospinning of polyvinyl alcohol (PVA). *Advances in Polymer Technology*, 37(6), 2114-2122.
- Erol, A.D., Çetiner, S., 2017. Elektronik Tekstillere Yönelik Akıllı Kumaş Sensörleri, *Tekstil ve Mühendis*, 24(108), 305-320.
- Gee, S., Johnson, B., Smith, A. L., 2018. Optimizing electrospinning parameters for piezoelectric PVDF nanofiber membranes. *Journal of membrane science*, 563, 804-812.
- Gemci, R., Yener, F., Solak, H. H., 2011. Uygulanan voltaj değeri ile pvb nano lif çapı arasındaki ilişki. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*,14(1).
- Gómez-Tejedor, J.A., Overberghe, N.V., Rico, P., Ribelles, J.L.G., 2010. Assessment of the parameters influencing the fiber characteristics of electrospun poly(ethyl methacrylate) membranes. *European Polymer Journal*, 47, 119-129.
- Gökçe B., Taşgetiren S., 2009. Kalite İçin Deney Tasarımı. *Teknolojik Araştırmalar*, 71-83.
- Gönültaş, İ., 2008. Kalite, kalite güvence ve tekstil uygulaması. Kadir Has Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 170s, İstanbul.
- Gutmann, E., Reibold, M., Meyer, D.C., Böttcher, H., 2009. Synthesis of Ag and Ag/SiO₂ sols by solvothermal method and their bactericidal activity, *Sol Gel Science Technology*, 51, 204-214.
- Haider, A., Haider, S., Kang, I. K., 2018. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*,11(8), 1165-1188.
- Huang, Z.M., Zhang, Y.Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2003. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223–2253.
- ISI Web of Knowledge., SCI., 2019. <http://www.webofknowledge.com>. Erişim tarihi: 19.07.2019

- İnanç-Horuz, T., Belibağlı, K. B., 2018. Effects of solvent type and process parameters on electrospinnability of zein through orthogonal experimental design. *Materials Science*, 24(1), 10-17.
- Kackar, R.N., 1986. Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary. *Quality Progress*, 19(12), 21-29.
- Karahasanoğlu, M., 2005. Modifiye Vinil Prolidon Kopolimerinin Kontrollü Salınımında Kullanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi, 46s, İstanbul.
- Karakaş, H. (2014). Electrospinning of nanofibers and their applications. *MDT Electrospinning*, 3, 1-35.
- Karna, K.S., Sahai, R., 2012. An overview on taguchi method. *International Journal of Engineering and Mathematical Sciences*, 1, 11-18.
- Khan, M. Q., Kharaghani, D., Nishat, N., Ishikawa, T., Ullah, S., Lee, H., ... & Kim, I. S. (2019). The development of nanofiber tubes based on nanocomposites of polyvinylpyrrolidone incorporated gold nanoparticles as scaffolds for neuroscience application in axons. *Textile Research Journal*, 89(13), 2713-2720.
- Khanlou, H.M., Ang, B.C., Talebian, A.M.A., Adriyana, A., 2015. Electrospinning of polymethyl methacrylate nanofibers: optimization of processing parameters using the Taguchi design of experiments. *Textile Research Journal*, 85(4), 356-368
- Koczur, K.M., Mourdikoudis, S., Polavarapu, L., Skrabalak, S.E., 2015. Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis, *The Royal Society of Chemistry*, 44, 17883-17905.
- Koç, M., 2016. Polietilenoksit (PEO) ve polivinilpirolidon (PVP)'un kimyasal ilgi profilleri ve karışabilirlikleri. Hacettepe Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, 107, Ankara.
- Mavruz, S., Oğulata, R. T., 2010. Taguchi approach for the optimisation of the bursting strength of knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2(79), 78-83.
- Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H., 2011. Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 332-338.
- Merck, https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/polyvinylpyrrolidone_1234590033_9811?lang=en®ion=TR. Erişim tarihi: 19.07.2019
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.

- Munir, M. M., Suryamas, A. B., Iskandar, F., & Okuyama, K., 2009. Scaling law on particle-to-fiber formation during electrospinning. *Polymer*, 50(20), 4935-4943.
- Özdoğan, E., Demir, A., & Seventekin, N. (2006). Nanoteknoloji ve tekstil uygulamaları (Bölüm 2). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(4), 225-229.
- Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N., 2006. nanoteknoloji ve tekstil uygulamaları. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3), 159-168.
- Panzarasa, G., Osypova, A., Consolati, G., & Pandini, S. (2019). Microsegregating blends of ethyl cellulose and poly (vinyl pyrrolidone): a combined thermo-mechanical and positron annihilation spectroscopy study. *Cellulose*, 26(3), 1619-1630.
- Ross, P. J. (1996). Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design.
- Shi, X., Zhou, W., Ma, D., Ma, Q., Bridges, D., Ma, Y., & Hu, A. (2015). Electrospinning of nanofibers and their applications for energy devices. *Journal of Nanomaterials*, 16(1), 122.
- Song, K., Zhang, P., Huang, Y., Xu, F., & Ding, Y. (2019). Electrospun PU/PVP/GO Separator for Li-ion Batteries. *Fibers and Polymers*, 20(5), 961-965.
- Steffe, J. M., 1992. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, (2nd ed.). USA: Freeman Press, Bölüm 1, ss. 1-35.
- Şirvancı, M. (1997). Kalite için deney tasarımı" Taguçi yaklaşımı". Literatür.
- Süpüren, G., Kanat, Z. E., Ahmet, Ç. A. Y., Kırıcı, T., Gülümser, T., & Tarakçıoğlu, I., 2007. Nano lifler (Bölüm 2). *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 17(2), 83-89.
- Teodorescu, M., & Bercea, M. (2015). Poly (vinylpyrrolidone)—a versatile polymer for biomedical and beyond medical applications. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 54(9), 923-943.
- Unal, R., & Dean, E. B. (1990). Taguchi approach to design optimization for quality and cost: an overview.
- Uyar, T., Besenbacher, F., 2008. Electrospinning of uniform polystyrene fibers: The effect of solvent conductivity. *Polymer*, 49(24), 5336-5343.
- Üstündağ, G.C., Karaca, E., 2016. Elektro çekim yöntemi ile alginat içeren nano lifli yüzey üretimi ve çapraz bağlama işlemi ile suya dayanıklı hale getirilmesi. *The Journal of Textiles and Engineer*, 75-76, 1-10.
- Yalçınkaya, B., 2012. İğneli ve iğnesiz elektro lif çekim yöntemleri ile nano lif üretiminde taylor koni yapısı ve fiskiye ömrünün analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, Isparta.

Yang, Q., Li, Z., Hong, Y., Zhao, Y., Qiu, S., Wang, C., Wei, Y., 2004. Influence of solvents on the formation of ultrathin uniform poly(vinyl pyrrolidone) nanofibers with electrospinning. *J Polym Sci, Part B: Polym Phys*, 42(20), 3721–3726.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aysun PINARBAŞI
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1991
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce, İspanyolca
E-posta : aysunpinarbasi@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Urla Hakan Çeken Anadolu Lisesi
Lisans : SDÜ, Müh. Mim. Fak., Tekstil Mühendisliği
SDÜ, Müh. Mim. Fak., Endüstri Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Doğu Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
(Araştırma Görevlisi), 2018-2019