



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

علوم و تکنولوژی نانوالیاف

Science and Technology of Nanofibers

عوامل موثر در الکتروریسی نانوالیاف

صدیقه برهانی

دانشکده مهندسی نساجی - دانشگاه صنعتی اصفهان

فرآیند الکتروریسی علیرغم آسانی و در دسترس بودن، بسیار پیچیده است.

ویژگی های محصول شامل:
قطر نانوالیاف،
یکنواختی قطر،
مورفولوژی سطحی نانوالیاف و وب حاصله
تداوم فرآیند
به عوامل متعددی وابسته است.

عوامل موثر بر ویژگی‌های نانوالیاف و پیوستگی فرآیند

خواص ذاتی محلول

- نوع پلیمر
- وزن ملکولی پلیمر
- غلظت پلیمر
- ویسکوزیته محلول
- کشش سطحی محلول
- هدایت الکتریکی حلال
- ثابت دی‌الکتریک حلال
- نقطه جوش حلال

پارامترهای فرآیند

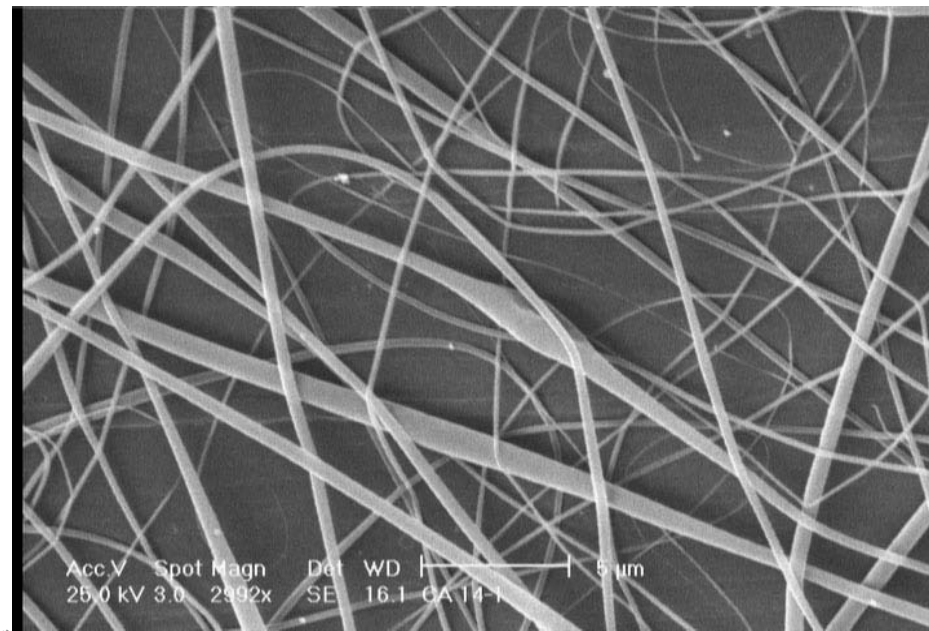
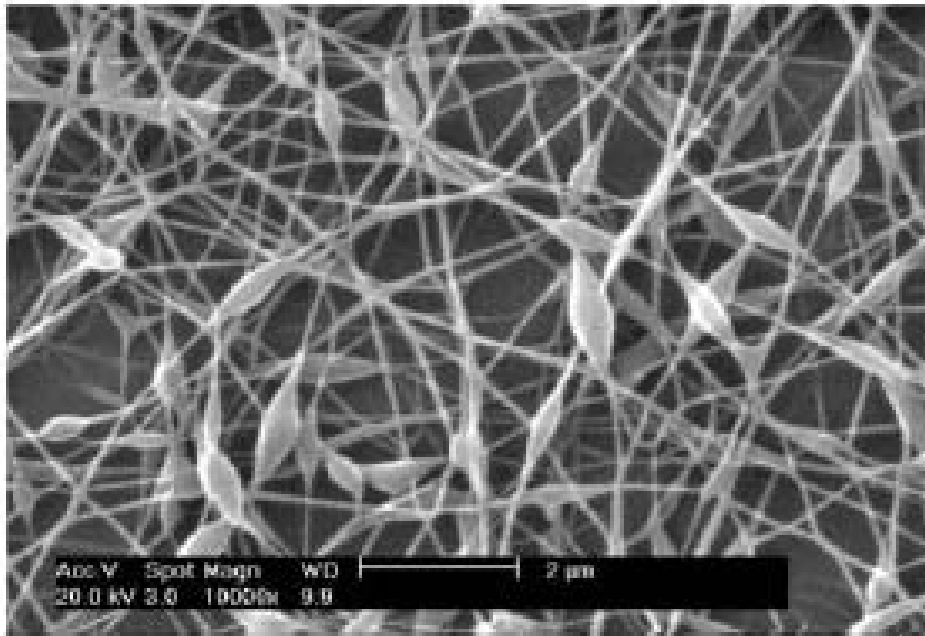
- اختلاف پتانسیل اعمالی
- فاصله ریسندگی
- سرعت تغذیه محلول
- قطر داخلی سوزن سرنگ
- جمع‌کننده

پارامترهای محیطی

- رطوبت و دمای محیط
- سرعت هوا

آسیب ها

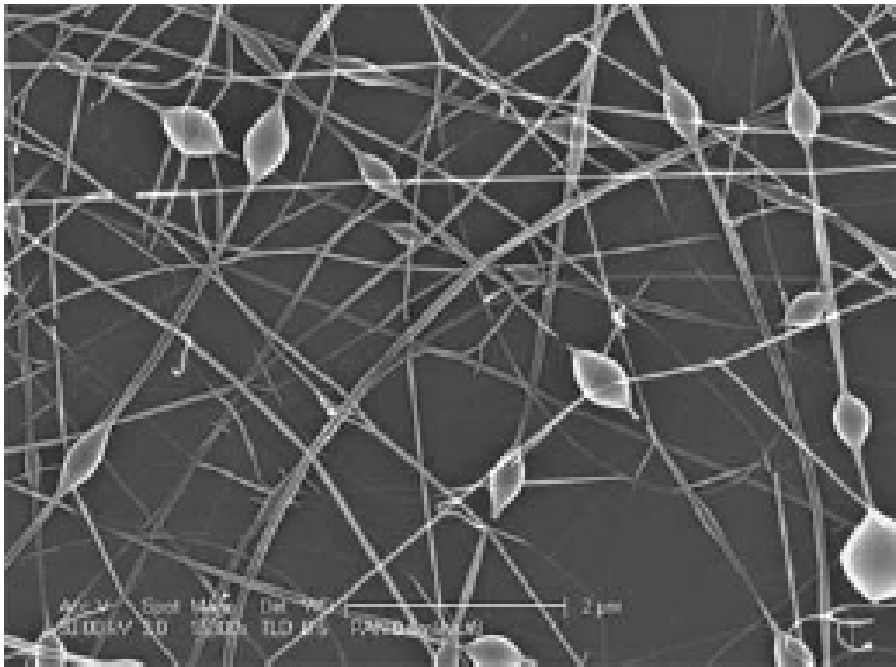
- حضور دانه (Bead) در نانو الیاف.
- نانو الیاف با ساختار آسیب دیده
- الیاف یکنواخت، الیاف دانه دار، قطره های پرتاب شده محلول و الیاف بهم چسبیده



صدیقه برهانی

نانوالیاف دانه دار

- در فرآیند الکترووریسی دانه زمانی تشکیل می شود که نیروی کشش سطحی بر نیروهای موثر بر ازدیاد طول جت غلبه کند.



- عوامل موثر در تشکیل دانه
- ویسکوزیته (غلظت)
- کشش سطحی
- دانسیته شارژهای حمل شده توسط جت سیال

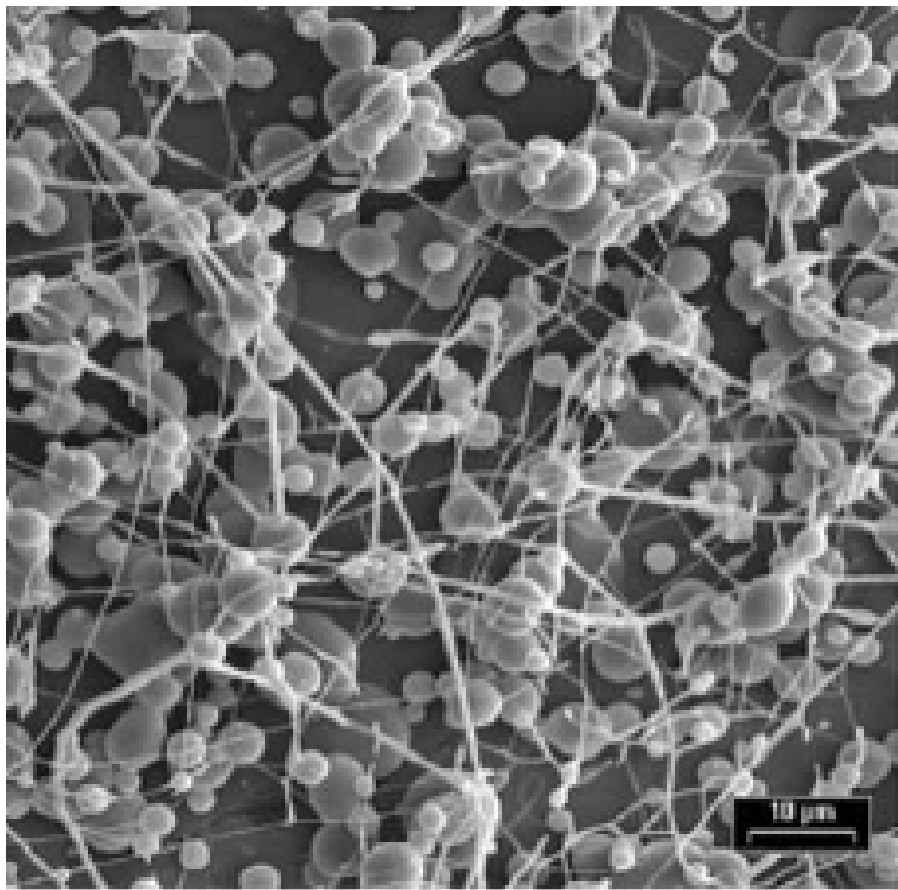
تشکیل دانه عموماً به عملکرد حداقل سه نوع نیرو نسبت داده میشود:

• کشش سطحی جهت به حداقل رساندن سطح جت سیال، سعی به تبدیل جت سیال به یک یا چندین قطره کروی شکل دارد (ناپایداری ریله - Rayleigh instability).

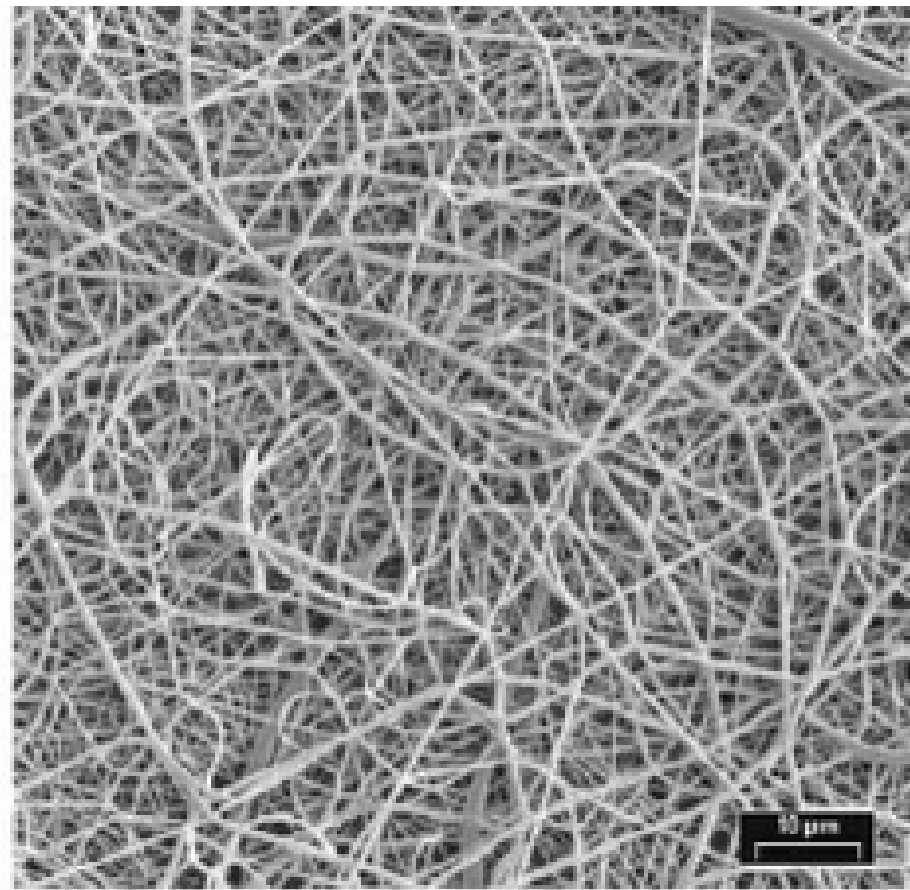
• دافعه الکترواستاتیکی میان بارهای حمل شده در سطح جت، تمایل به افزایش سطح جت سیال و در نتیجه سعی در تشکیل جت باریک به جای دانه ها دارد.

• نیروی ویسکوالاستیک به مقابله با تغییر شکل سریع جت پرداخته و از تشکیل الیاف با سطحی صاف حمایت می کند.

❖ هنگامی که از اثر کشش سطحی توسط دو نیروی اخیر جلوگیری شود، دانه ها تشکیل نمی گردد.



(a)



(b)

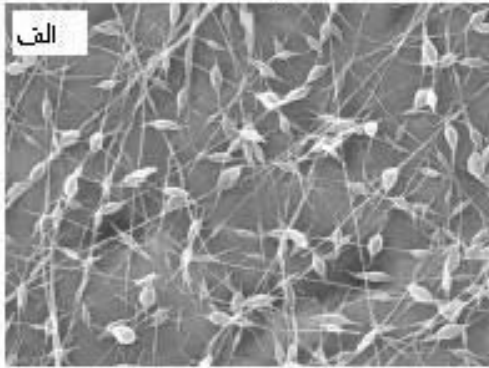
صدیقه برهانی
دانشکده مهندسی نساجی - دانشگاه صنعتی اصفهان

خواص محلول

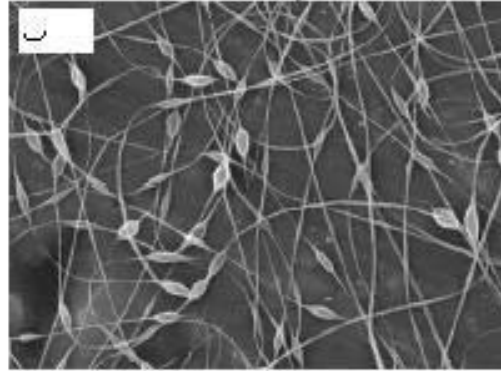
- اساس عمل الکتروریسی بر کشش دادن یک سیال پلیمری توسط نیروهای الکتریکی استوار است و از انواع پلیمرها و حلال ها می توان استفاده کرد.
- چون تشکیل جت به درهم رفتگی (Entanglement) زنجیرهای پلیمری تکیه دارد لذا در الکتروریسی، به غلظت مشخصی از محلول پلیمری (غلظت بحرانی) نیاز می باشد.
- غلظت بحرانی به نوع حلال و وزن ملکولی پلیمر وابسته است .
- وزن ملکولی بحرانی: وزن ملکولی که در آن درهم رفتگی زنجیرهای پلیمری قابل توجه است.

ویسکوزیته

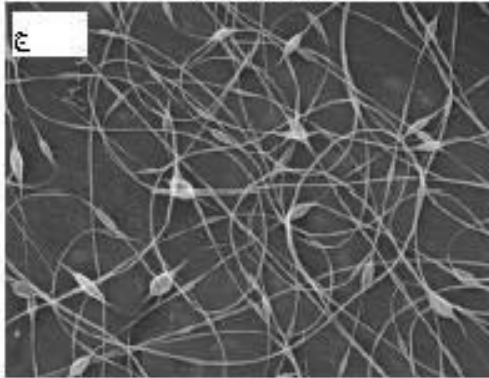
Polymer viscosity



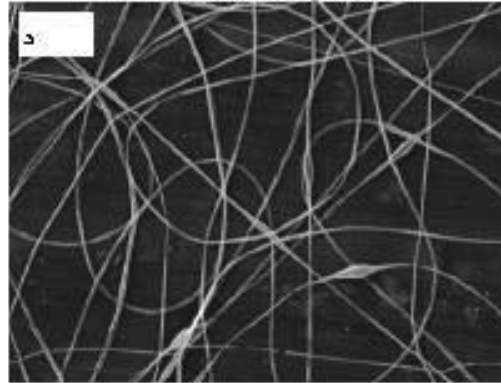
74 centipoise



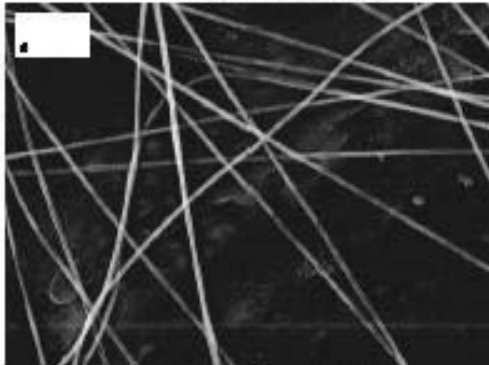
160 centipoise



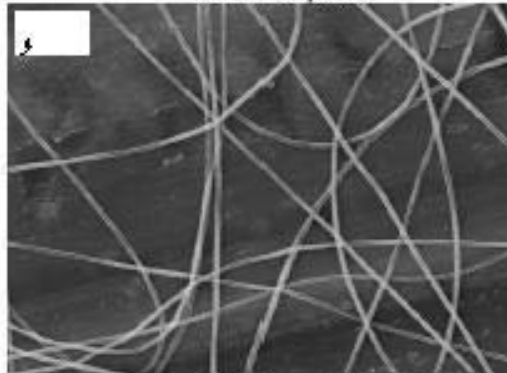
289 centipoise



527 centipoise



1250 centipoise

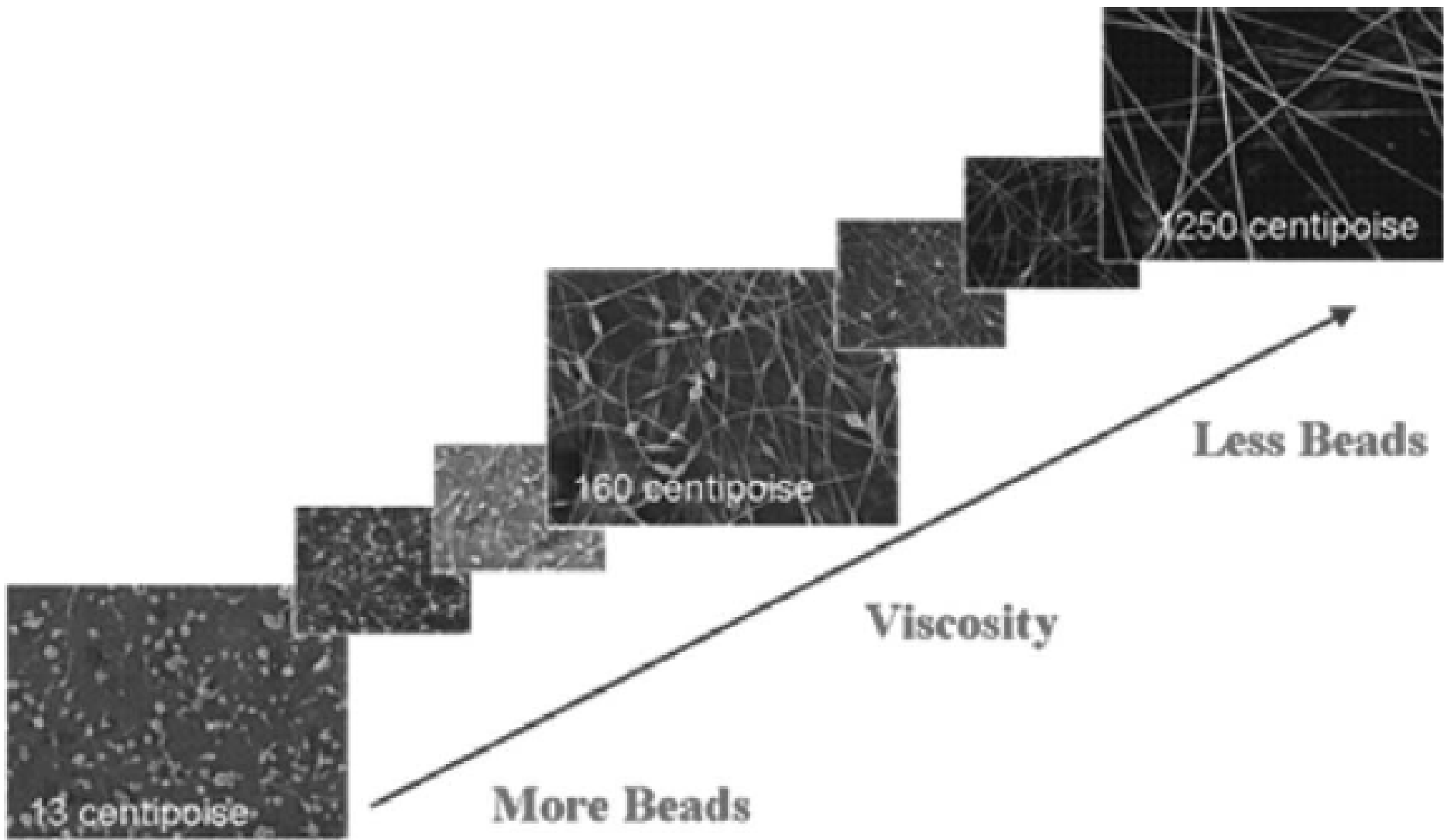


1835 centipoise

- ویسکوزیته یا گرانروی بیانگر مقاومت سیال در برابر جاری شدن است.

- با افزایش ویسکوزیته میزان دانه ها و الیاف دانه دار کاهش می یابند. همچنین میانگین فاصله آن ها در یک رشته با یکدیگر افزایش یافته است.

ضمناً، شکل دانه ها به تدریج از کروی شکل به دوکی شکل تغییر کرده و در نهایت ناپدید شده اند.



وزن ملکولی محلول پلیمری

- وزن ملکولی تابعی از وزن ملکولی واحد تکراری (منومر) و تعداد آن است.
- اهمیت وزن ملکولی بخاطر تاثیر آن بر طول زنجیر پلیمری و خواص آن است.

Number average molecular weight:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

Weight average molecular weight

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i},$$

Viscosity average molecular weight

$$\bar{M}_v = \left[\frac{\sum N_i M_i^{1+a}}{\sum N_i M_i} \right]^{1/a},$$

وزن ملکولی محلول پلیمری

- وزن ملکولی خصوصیات یک پلیمر در فاز جامد و محلول را بیان میکند.
- پلی اتیلن با متوسط وزن ملکولی وزنی ۳۰۰۰ ماده ای نرم و واکسی مانند است که به عنوان نرم کننده استفاده می شود.
- پلی اتیلن با متوسط وزن ملکولی وزنی ۳-۶ میلیون (UHMW-PE) یک پلیمر سخت و چقرمه و قوی میباشد.
- پهنای توزیع وزن ملکولی (polydispersity)

$$\text{polydispersity index } P = \overline{M}_w / \overline{M}_n.$$

وزن ملکولی محلول پلیمری

- تعیین وزن ملکولی با استفاده از ویسکوزیته ذاتی

– ویسکوزیته محلول پلیمری به

- ماهیت پلیمر

- وزن ملکولی پلیمر

- غلظت محلول پلیمری

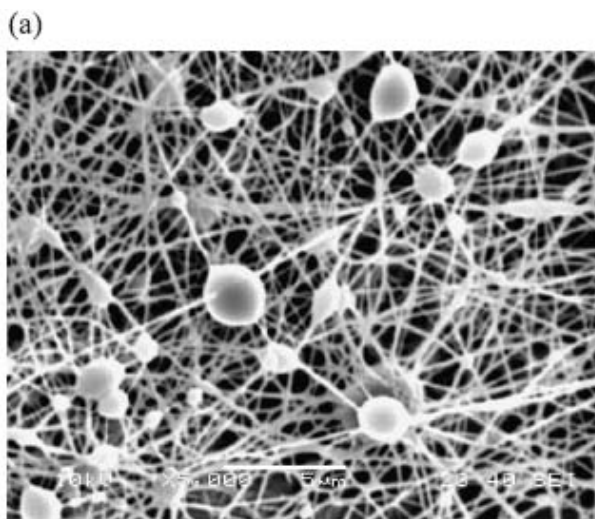
- دما

وابسته است.

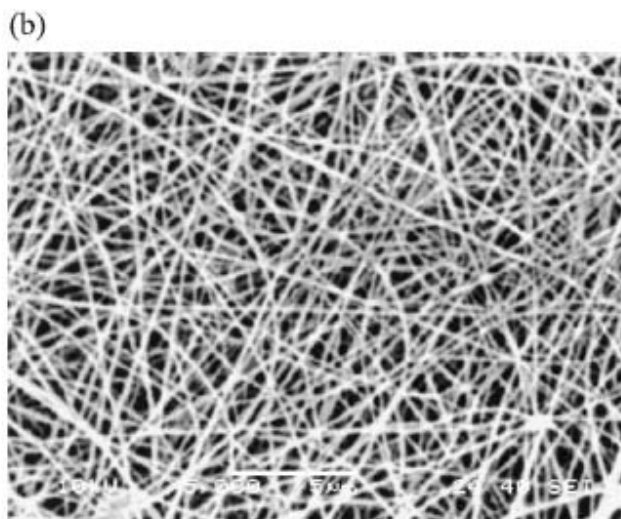
وزن ملکولی پلیمر

Molecular weight of polymer

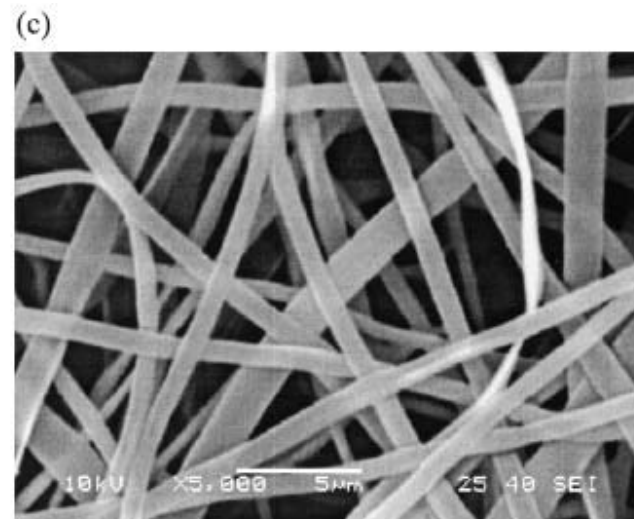
- تغییر در وزن ملکولی پلیمر، تعداد درگیری بین زنجیرهای پلیمری و در نتیجه ویسکوزیته محلول پلیمری را تغییر خواهد داد.



9000-10000 g/mol



13000-20000 g/mol

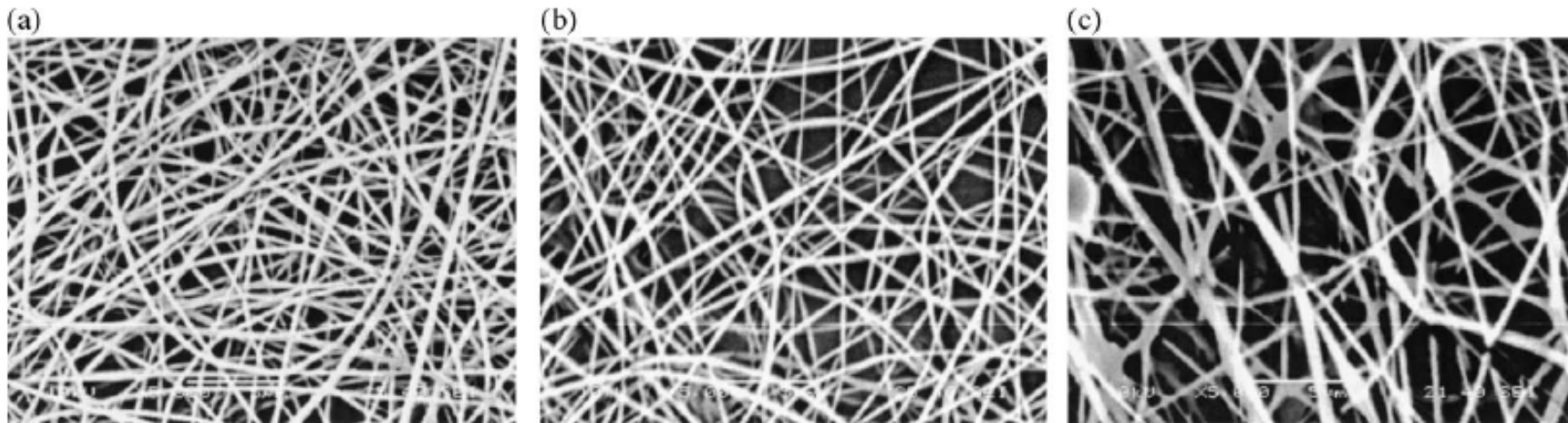


31000-50000 g/mol

الیاف PVA الکتروریسی شده با وزن های مولکولی مختلف پلیمر (غلظت محلول ها ۲۵٪)

وزن ملکولی پلیمر

Molecular weight of polymer



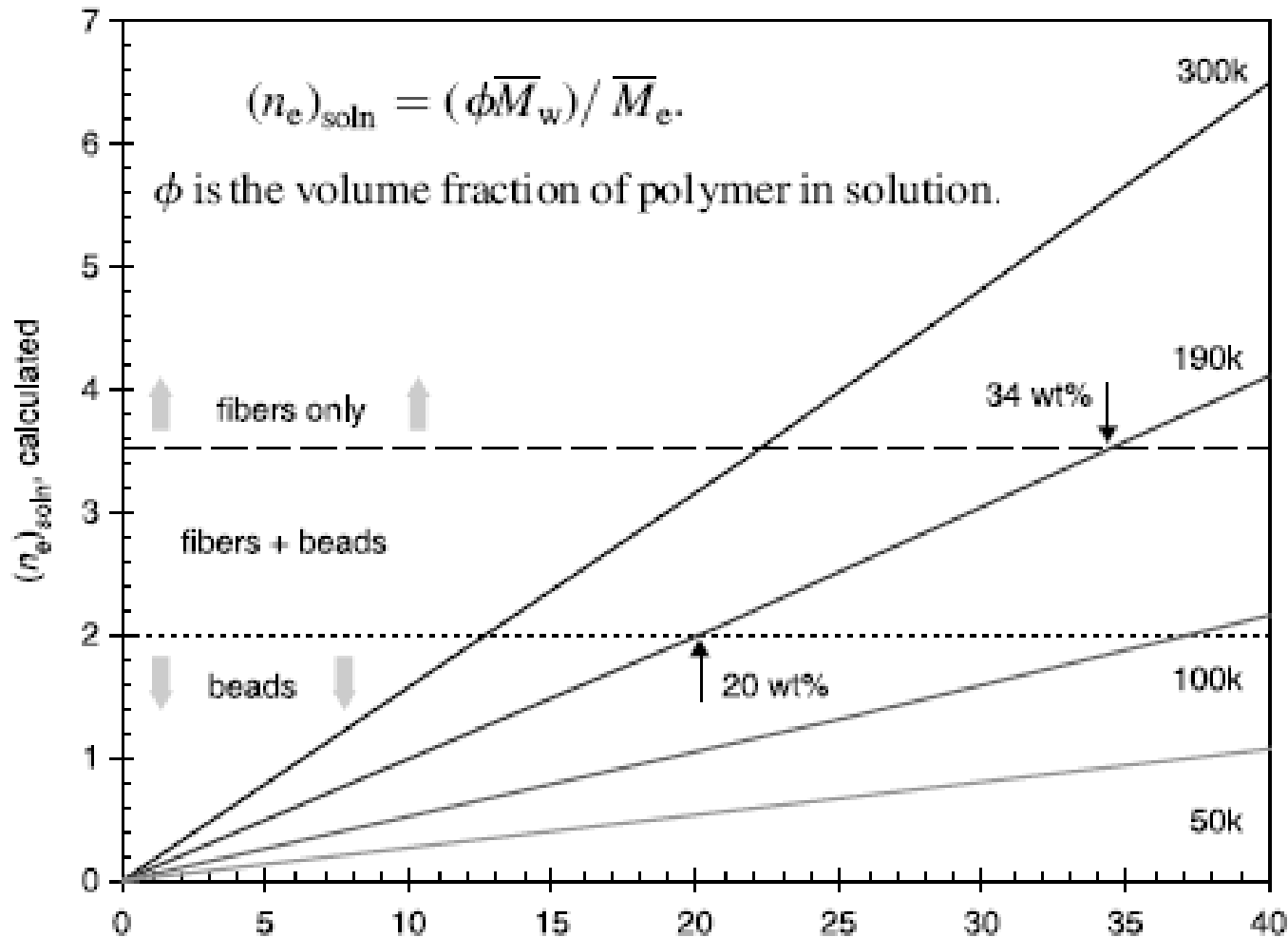
9000-10000 g/mol
35wt%

50000-85000 g/mol
11wt%

124000-186000 g/mol
6wt%

الیاف PVA الکتروریسی شده با وزن های مولکولی مختلف پلیمر (ویسکوزیته محلول ها ۷/۵)

نمودار عدد درگیری (Entanglement) در برابر غلظت PS/THF در وزن ملکولی های مختلف



غلظت محلول پلیمر (Polymer concentration)

- ❖ افزایش غلظت محلول منجر به افزایش ویسکوزیته و در نتیجه نیروهای ویسکوالاستیک می شود و از کشیده شدن جت توسط نیروی کلمب ممانعت می شود و منجر به تولید الیافی با قطری بیشتر می شود.
- ❖ در ولتاژ ثابت، نیروهای الکترواستاتیک و کلمب اعمالی بر جت، به دانسیته بار حمل شده توسط جت وابسته است.
- ❖ افزایش غلظت سبب افزایش مقدار بار حمل شده و نیروی کلمب می شود.
- نتیجه این دو اثر متفاوت، تولید مخلوطی از نانوالیاف با توزیع قطری وسیع می شود.

غلظت محلول پلیمر (Polymer concentration)

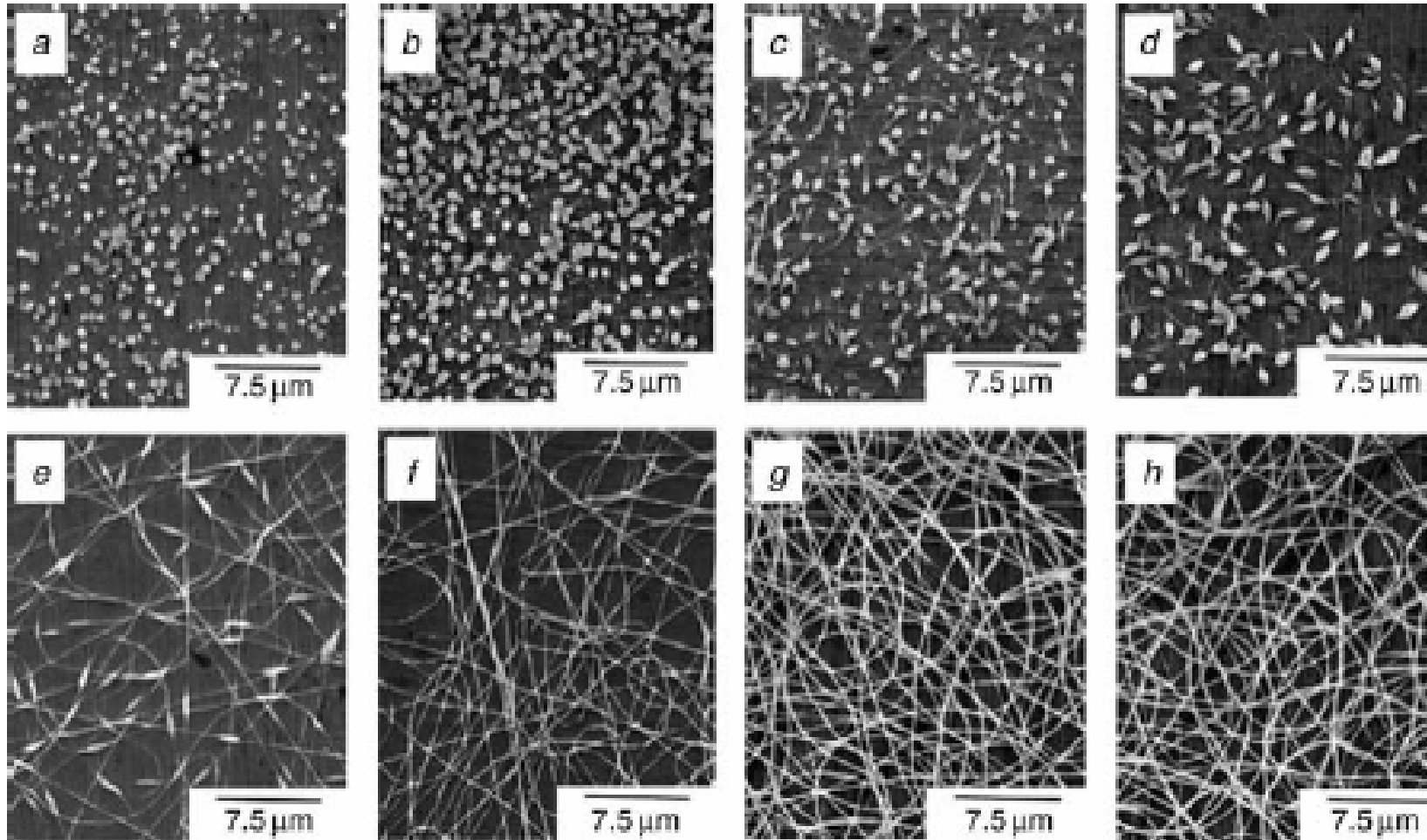
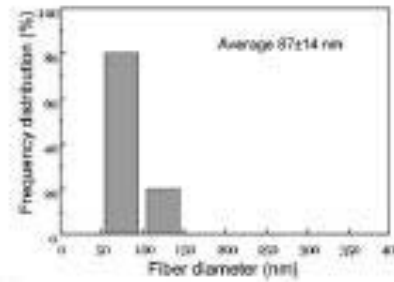
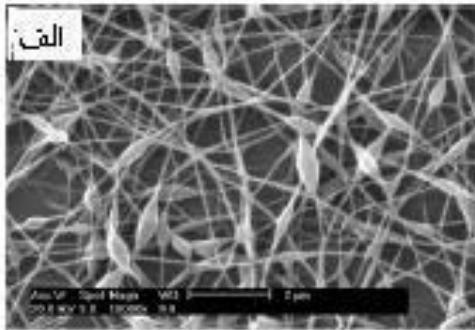
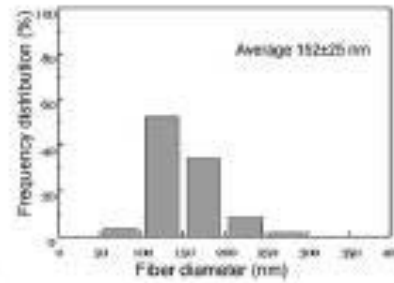
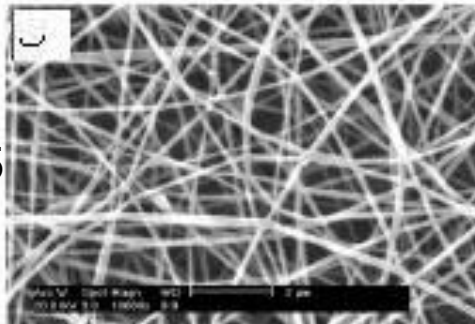


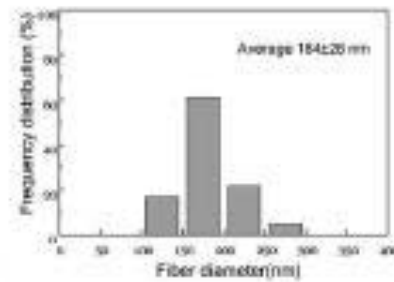
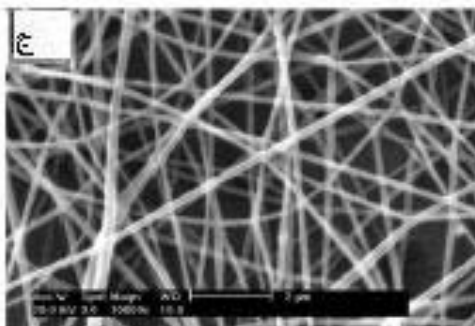
Figure 3.7 Electrospinning and electrospinning of aqueous PEO solutions ($M_w = 500,000$) under a constant applied voltage of 4.5 kV and a gap distance of 7 cm: (a) 5, (b) 10, (c) 20, (d) 30, (e) 40, (f) 50, (g) 60, (h) 70 g/L. Reprinted with



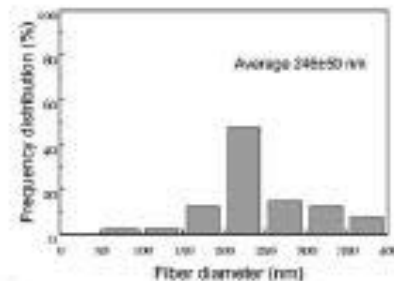
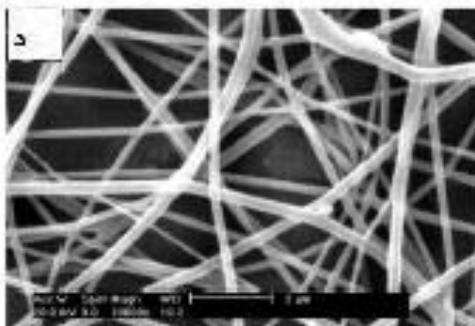
%6



%6.5



%7



%8

تصاویر الیاف PVA الکتروریسی شده در غلظت های مختلف به همراه توزیع قطری ولتاژ ۸ کیلوولت و غلظت های مختلف

تأثير حلال

كشش سطحی
هدایت الكتریکی
ثابت دی الكتریك
فراریت

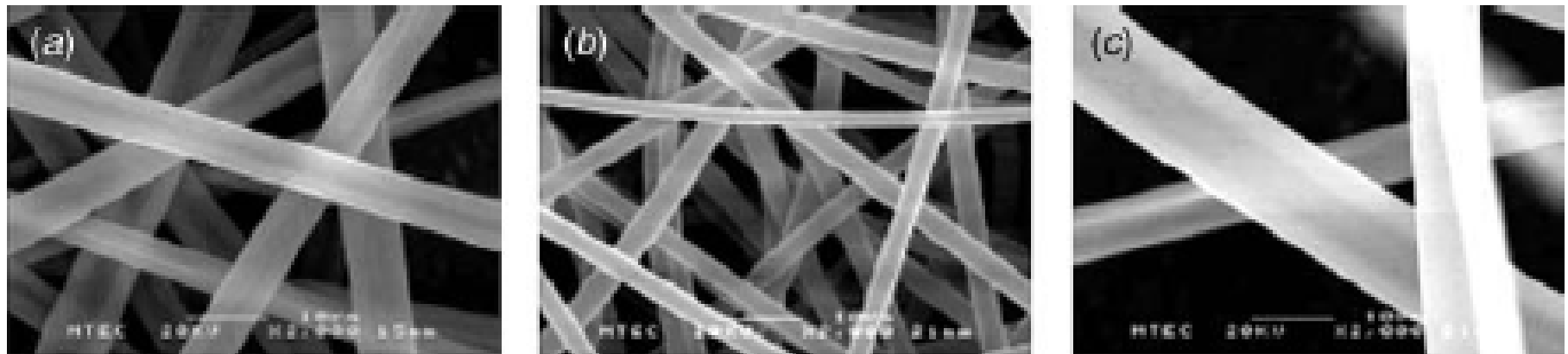


Figure 4.3 Scanning electron micrograph (SEM) images (same magnification) of PS nanofibers electrospun from 30% w/v solutions of (a) 1,2-dichloroethane, (b) DMF, and (c) ethyl acetate solutions at an applied potential of 20 kV and a gap distance of 10 cm, illustrating the widely different fiber diameters. Reproduced with

کشش سطحی محلول

Surface tension of polymer

کشش سطحی، نیرویی کششی در سطح مایع بوده که کشش سطحی سطح واحد جرم را کاهش می دهد و لذا مایع را متمایل به کروی شدن می نماید. این نیرو بعنوان نیروی عمل کننده بر واحد طول (dyne/cm, mN/m) بیان می گردد.

کشش سطحی محلول پلیمری عمدتاً تابعی از نوع حلال است، هر چند که با تغییر غلظت پلیمر نیز بطور جزئی تغییر می نماید. بنابراین با تغییر در سیستم حلال می توان کشش سطحی را تغییر داد.

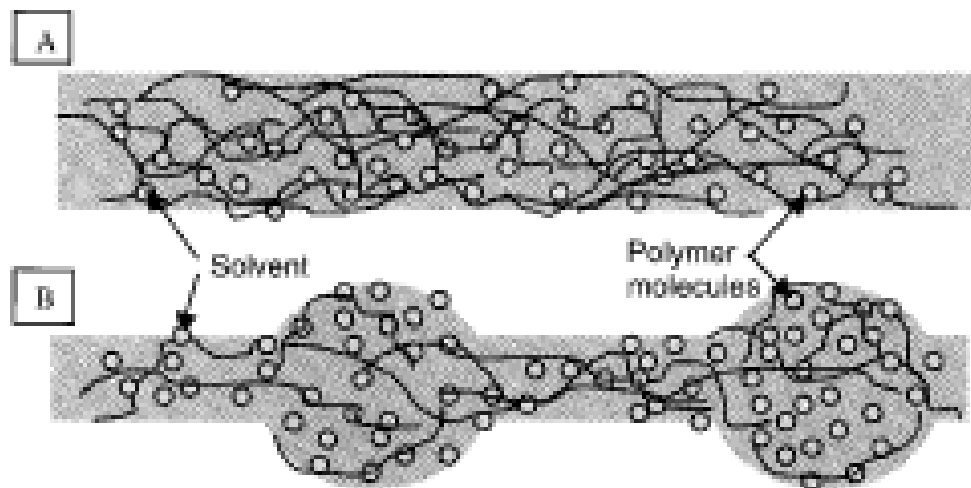


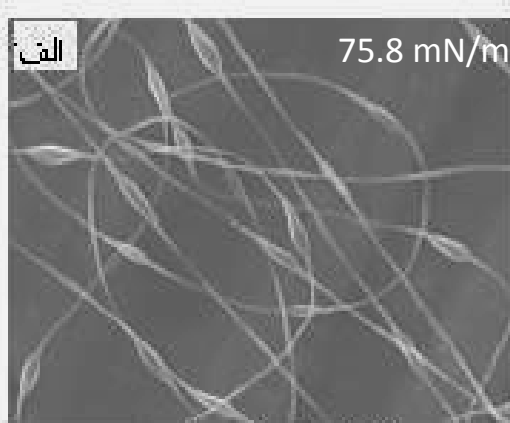
Fig. 3.2. [A] At high viscosity, the solvent molecules are distributed over the entangled polymer molecules. [B] With a lower viscosity, the solvent molecules tend to congregate under the action of surface tension.

TABLE 4.1 Data for solvents commonly used in electrospinning of polymers

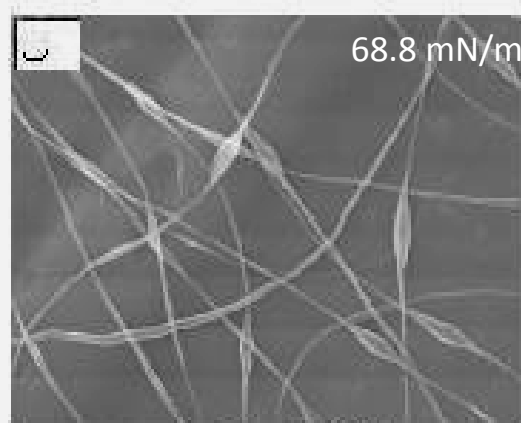
	ρ (g/cm ³)	T_b (°C)	Dielectric Constant	γ (mN/m) ^b	η (mPa.s)
Acetone	0.790	56	20.7	23.46	0.324
CHCl ₃	1.483	62	4.81	26.67	0.568
THF ^a	0.889	66	7.6	23.97	0.468
Cyclohexane	0.779	81	2.02	24.65	0.979
Water	0.998	100	78.5	71.99	1
Toluene	0.867	111	2.38	27.93	0.59
DMF ^a	0.944	153	36.7	—	0.92
Formic acid	1.213	101	58.5	37.7	1.8
Ethanol	0.785	78	24.6	22.0	1.1
Acetic acid	1.050	118	6.19	26.9	1.1

^aTHF, tetrahydrofuran; DMF, dimethylformamide.

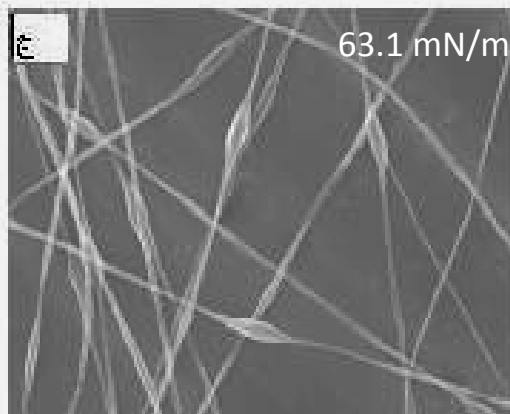
^bSurface tension. Dielectric constants measured at 25°C.



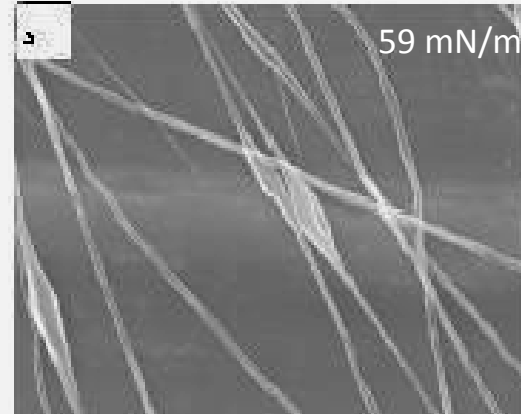
ethanol/water: 0.000



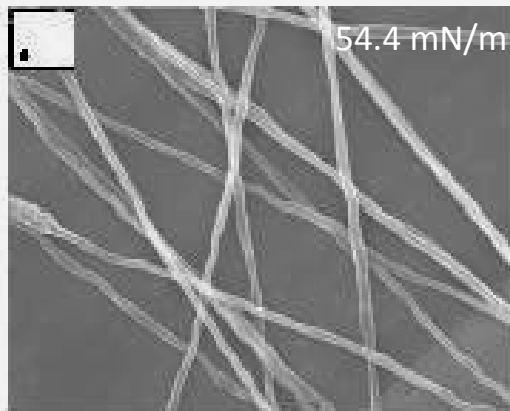
ethanol/water: 0.054



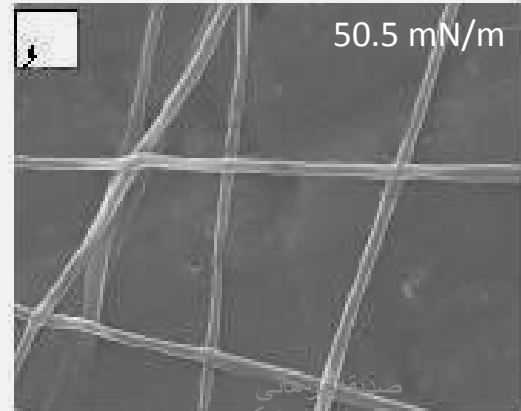
ethanol/water: 0.115



ethanol/water: 0.260



ethanol/water: 0.448



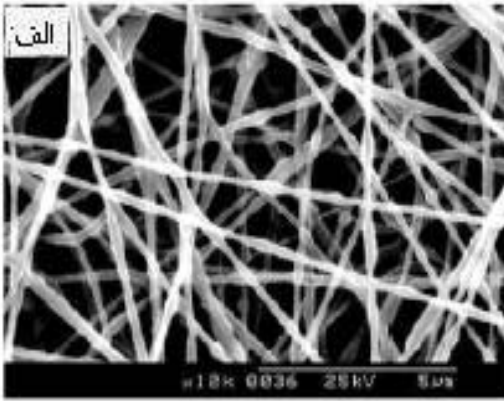
ethanol/water: 0.702

- تغییر ساختار الیاف دانه دار در برابر تغییر نسبت وزنی اتانل به آب (تغییر کشش سطحی محلول)، غلظت پلیمر ۳ درصد وزنی

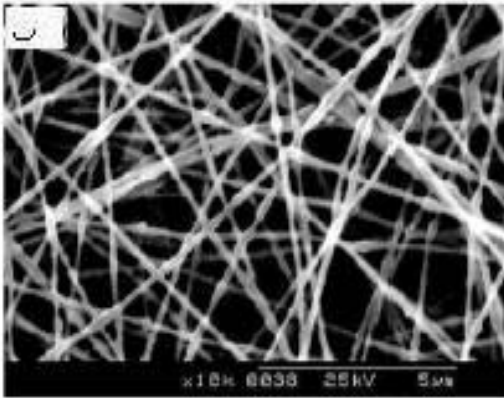
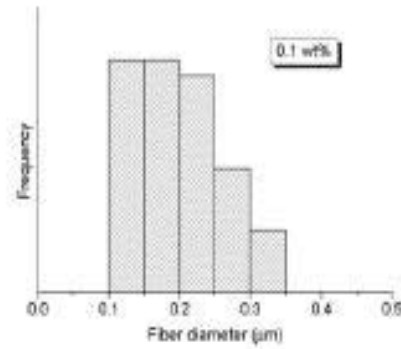
هدایت محلول

Conductivity of solution

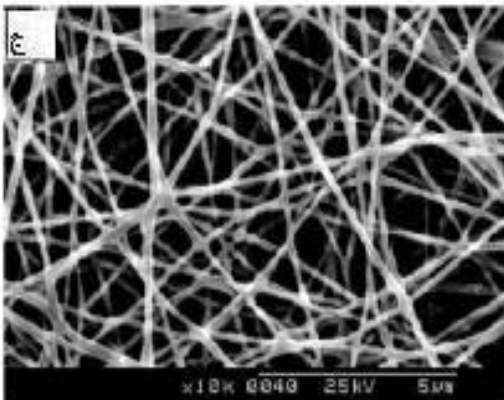
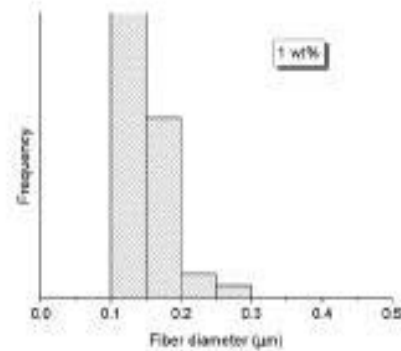
- هدایت الکتریکی بصورت رسانایی میان وجوه مقابل در یک مکعب واحد از یک جسم تعریف شده و واحد آن S/m میباشد.
- افزایش ضریب هدایت محلول باعث افزایش بارهای حمل شده توسط جت شتابدار می شود. نتیجه این امر افزایش نیروی کشیدگی و ناپایداری خمشی می باشد.
- افزایش هدایت الکتریکی محلول با افزایش نمک، باعث افزایش دانسیته شارژهای حمل شده توسط جت می شود که نتیجه آن بیشتر شدن نیروهای کشش دهنده و نازک تر شدن الیاف الکترورسی شده است.



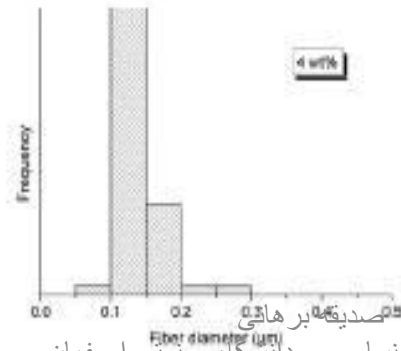
0.1 wt%



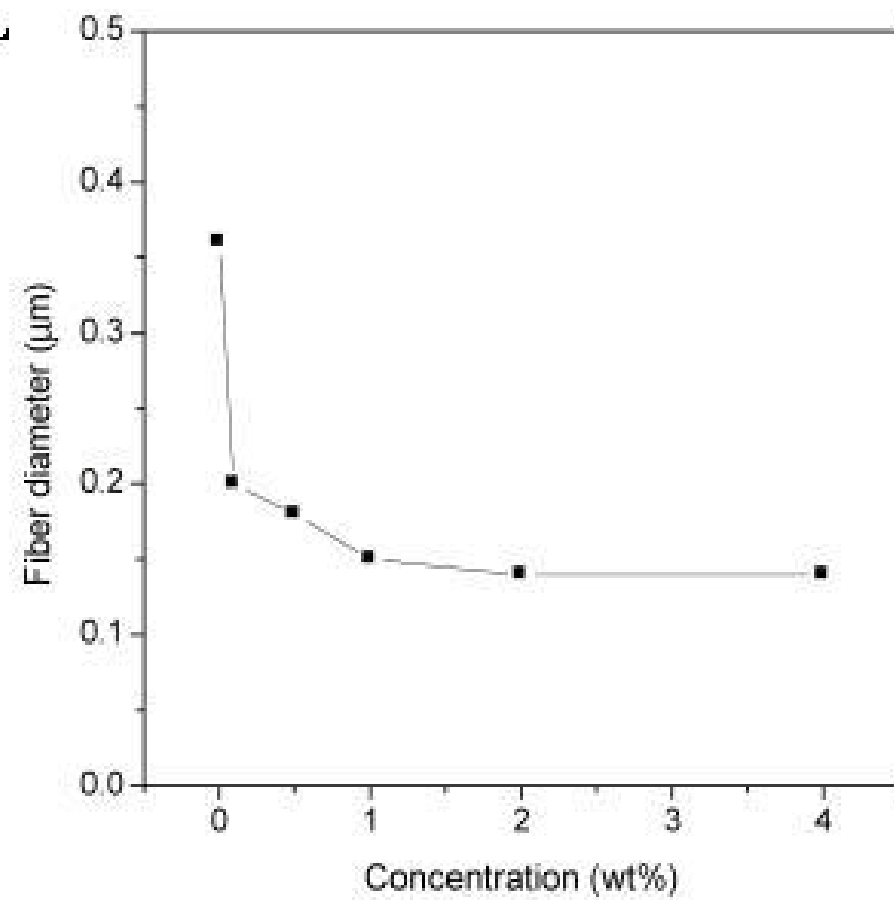
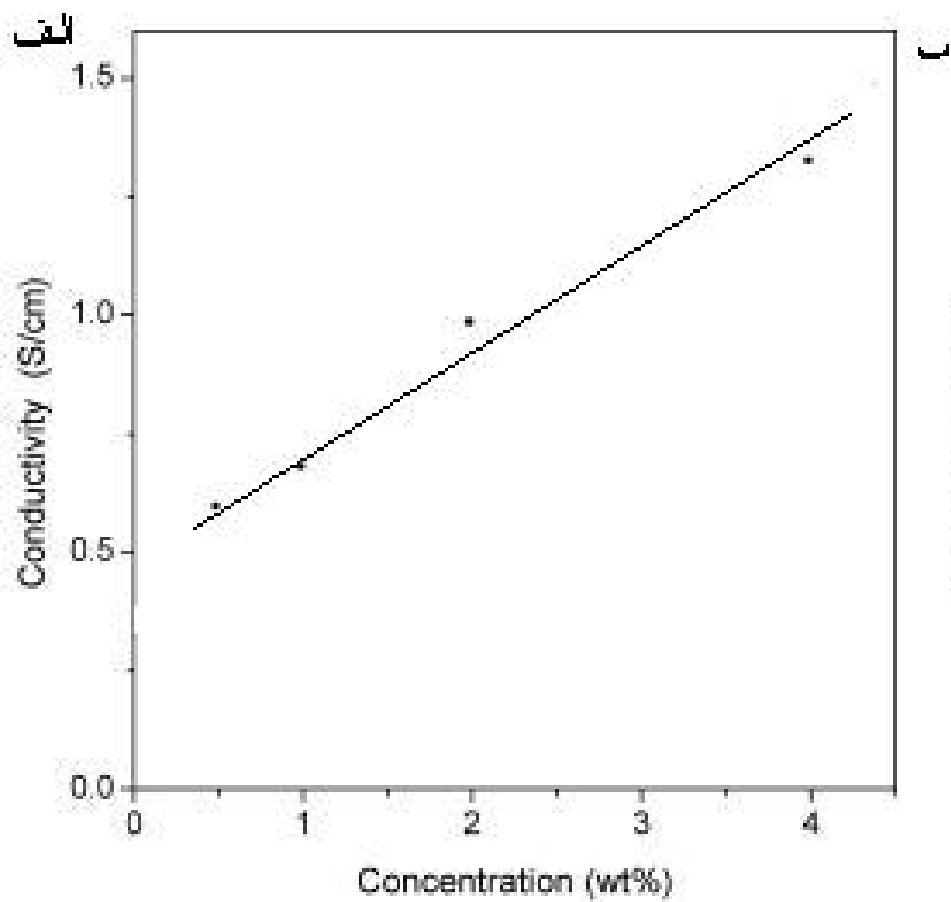
1 wt%

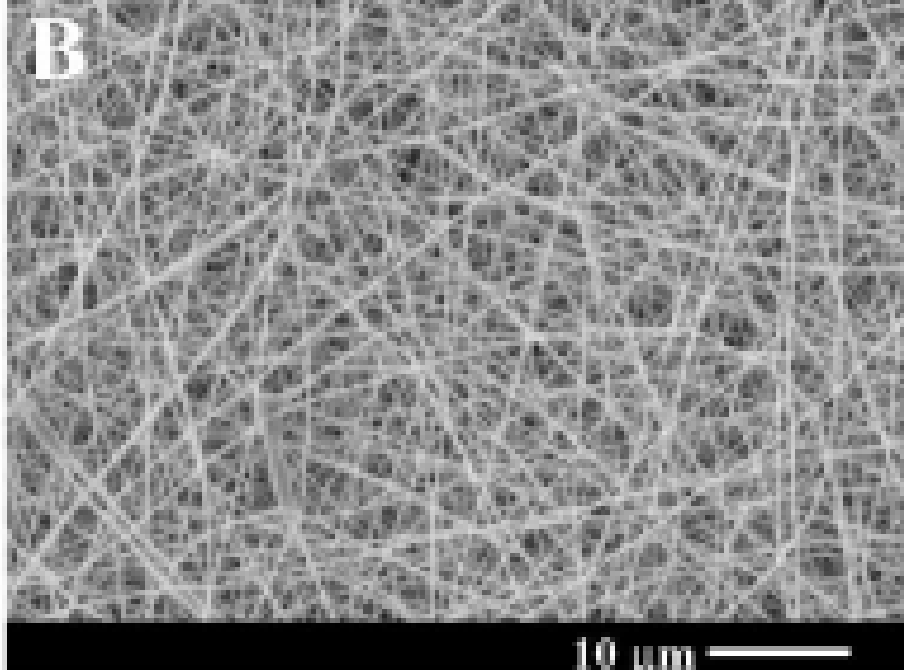
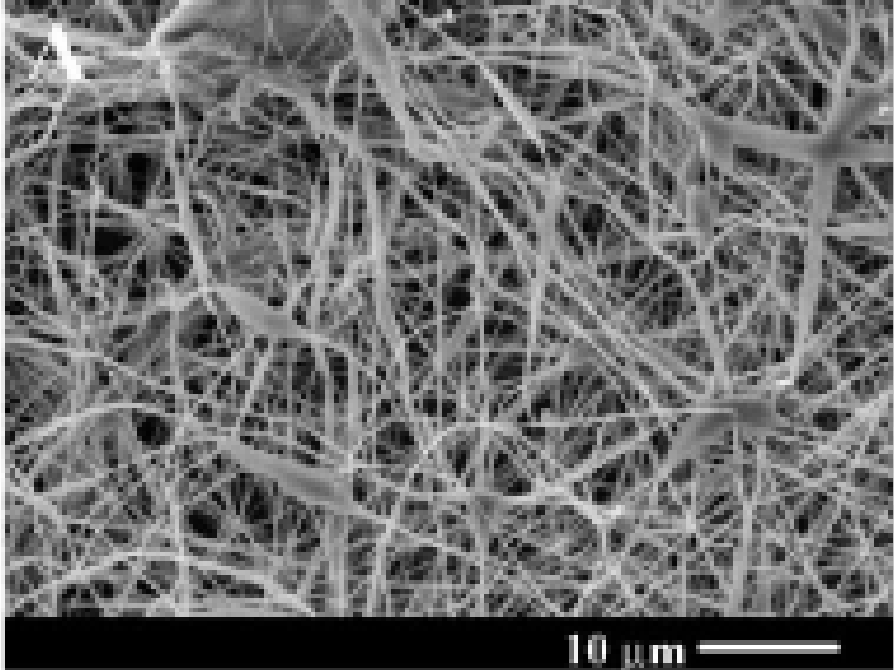


4 wt%



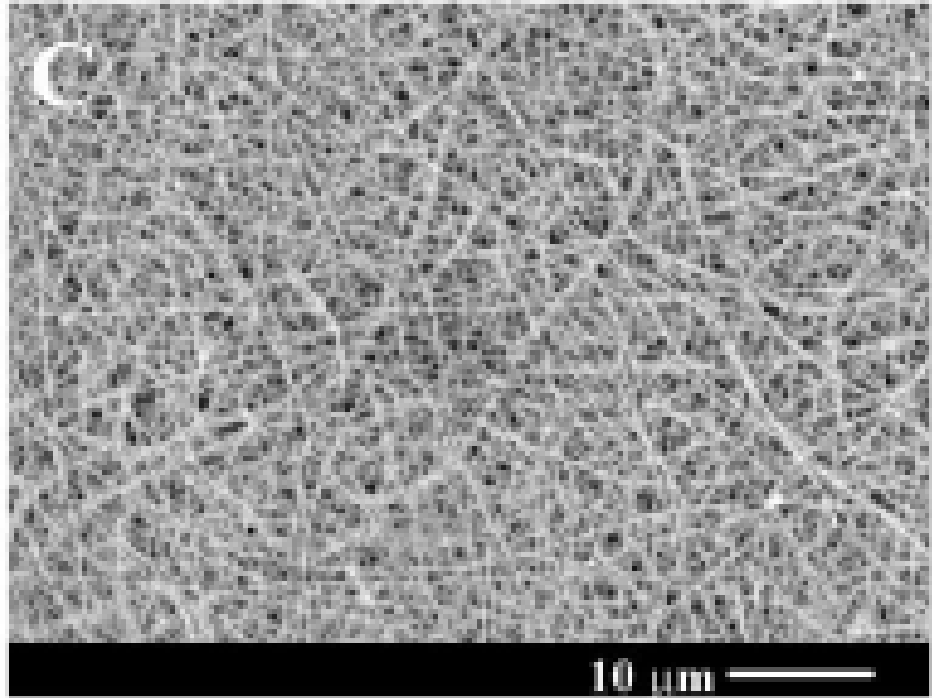
تصاویر الیاف الکتروریسی شده توسط محلول های آبی PEO با غلظت های مختلف نمک سدیم پلی اکریلیک اسید (poly acrylic acid sodium) salt همراه توزیع قطری.





KH₂PO₄

NaH₂PO₄



NaCl

ثابت دی الکتریک حلال

Dielectric constant

- ثابت دی الکتریک خاصیتی از ماده میباشد و انرژی الکتریکی که می تواند ذخیره کند را مشخص می نماید. افزایش ثابت دی الکتریک باعث افزایش ناپایداری های خمشی جت می شود.

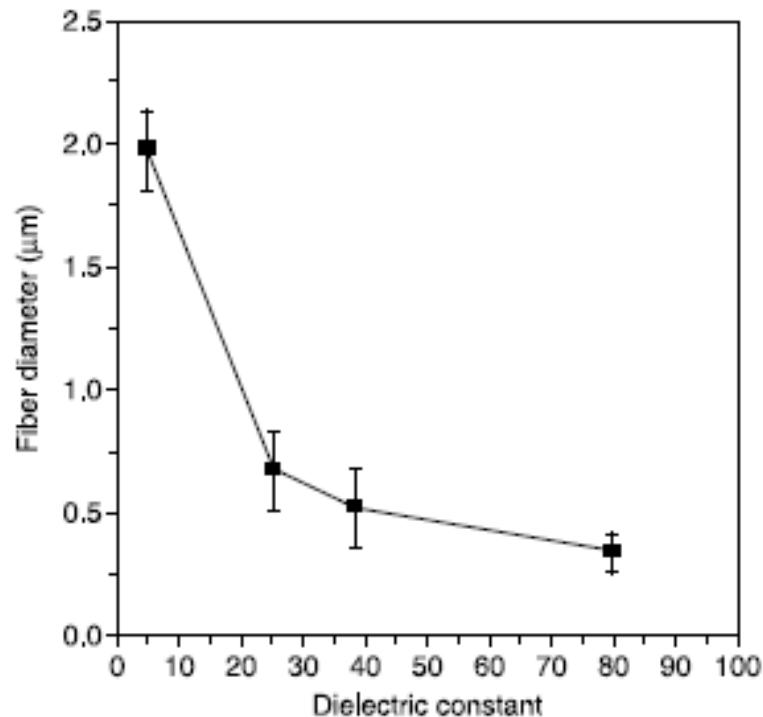
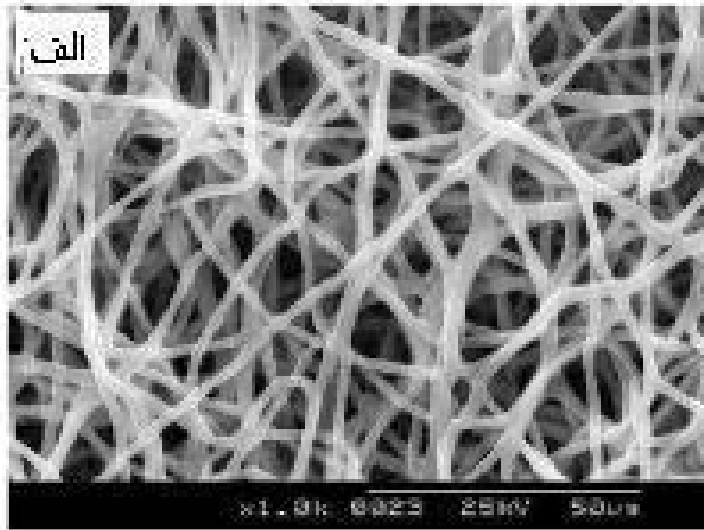


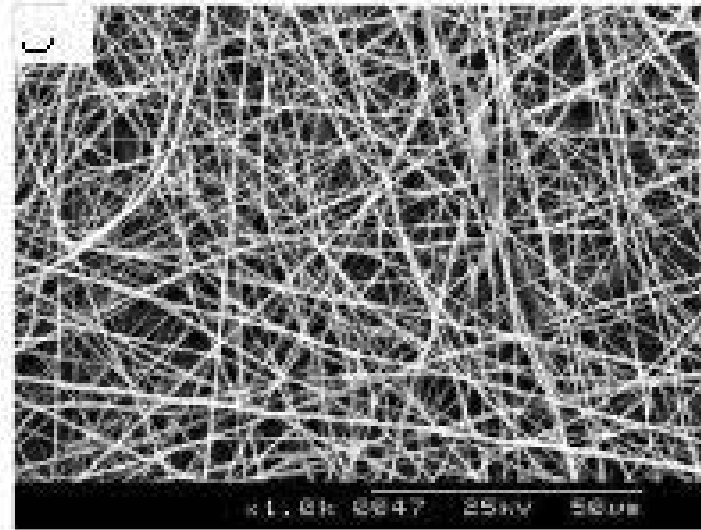
Figure 4.7 Relationship between the average fiber diameter and the dielectric constant of the solvent for electrospun PEO nanofibers. All solutions were at concentrations corresponding to $[\eta]c \approx 10$. Reproduced with permission from Son et al. (2004d). Copyright 2004. Elsevier.

$\epsilon = 4.81$

$\epsilon = 25.3$



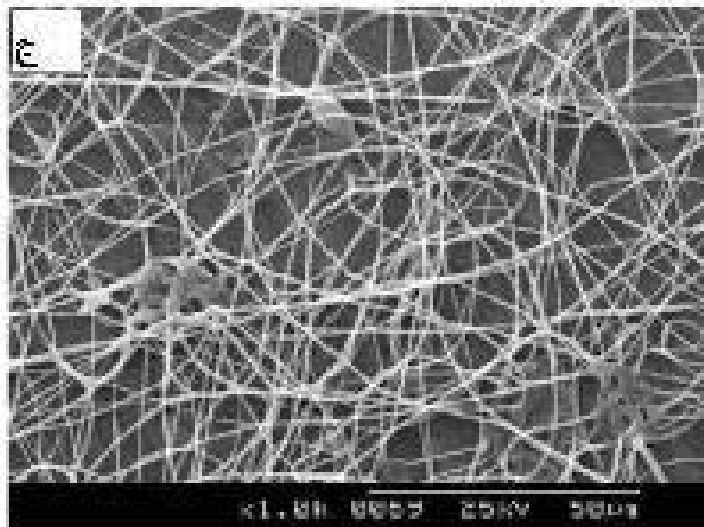
Chloroform (3 wt%)



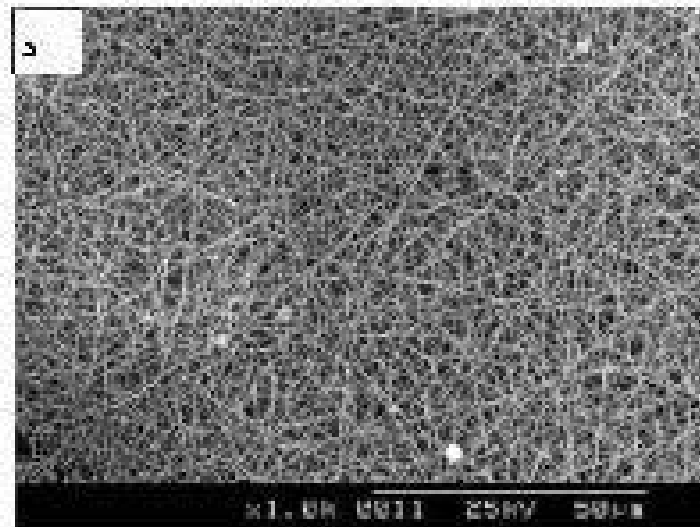
Ethanol (4 wt%)

$\epsilon = 38.3$

$\epsilon = 80.1$



DMF (7 wt%)



Water (7 wt%)

صدیقه برهانی
دانشکده مهندسی نساجی - دانشگاه صنعتی اصفهان

فراریت حلال

Solvent volatility

- یکی از مراحل فرآیند الکترووریسی تبخیر سریع حلال است.
- فشار بخار حلال تعیین کننده نرخ تبخیر و زمان بحرانی جامد شدن الیاف است.

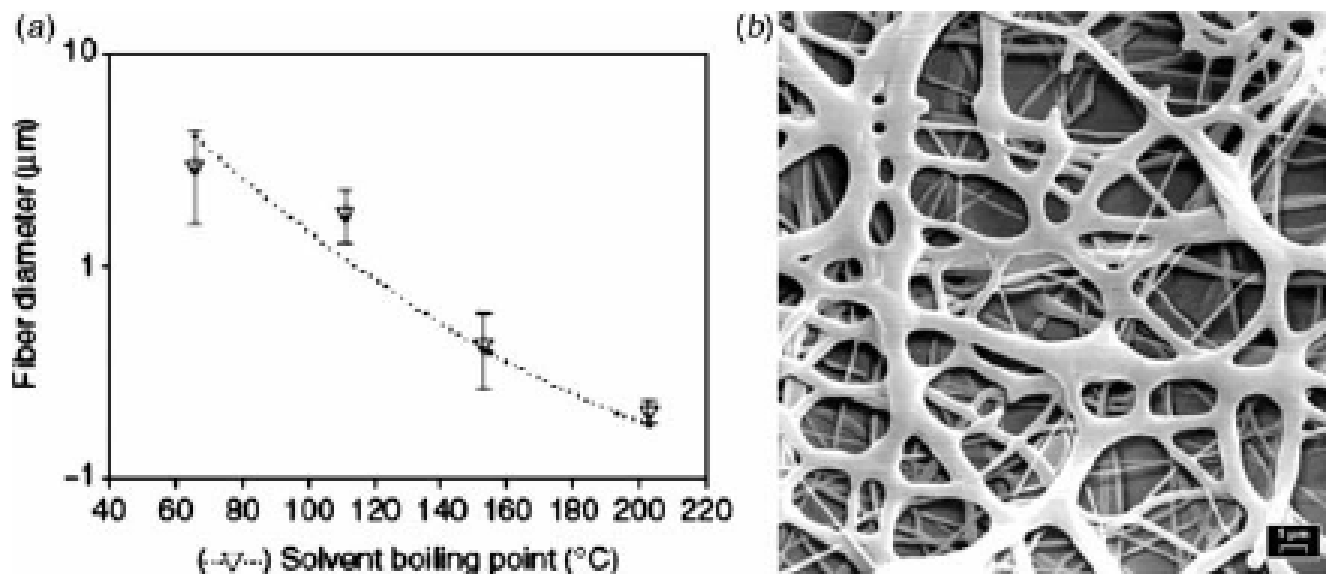


Figure 4.8 (a) The relationship between the boiling point of the solvent and average fiber diameter in electrospinning PS from solutions in solvents of different boiling points (polymer concentration 23–27 wt%) (Wannatong et al. 2004). Reprinted with permission from Wannatong et al. (2004). Copyright 2004. John Wiley & Sons Inc. (b) Reticular mesh from fused “wet” fibers reaching the collector. PCL, 4 wt% solutions in CHCl_3 . Reprinted with permission from Hsu and Shivkumar (2004a). Copyright 2004. Springer Science and Business Media.

table 2-2 Properties of low molecular components at 298.15 K

	THF	DMAc	NMP	water	IPA	chloroform	acetone
Supplier	Merck	Merck	Merck	ultrapure	Merck	Merck	Baker Inc.
molecular weight [g mol ⁻¹]	72.107	87.122	99.133	18.015	60.096	119.377	58.08
melting point [K]	164.65	253.15	249.5	273.15	185.28	209.63	178.45
glass transition temperature [K]	99.1	146	143	137	114	138	112
boiling point [K]	338	439	477	373.15	355.41	334.33	329.44
vapor pressure [Pa]	2.16 10 ⁵	2.67 10 ²	4.55 10 ¹	3.17 10 ³	6.07 10 ³	2.62 10 ⁵	3.06 10 ⁴
liquid density [g cm ⁻³]	0.88	0.935	1.0251	0.9989	0.7826	1.4820	0.7857
refractive index [-]	1.4050	1.4356	1.4690	1.3325	1.3752	1.4431	1.356
heat of vaporization [J mol ⁻¹]	4.3 10 ⁴	6.0 10 ⁴	5 10 ⁴	4.4 10 ⁴	4.5 10 ⁴	3.1 10 ⁴	3.1 10 ⁴
liquid viscosity [Pa s]	4.7 10 ⁻⁴	9.12 10 ⁻⁴	1.66 10 ⁻³	9.76 10 ⁻³	2.06 10 ⁻³	5.39 10 ⁻⁴	3.4410 ⁻⁴
surface tension [N m ⁻¹]	2.50 10 ⁻²	3.31 10 ⁻²	4.01 10 ⁻²	7.28 10 ⁻²	2.1 10 ⁻²	2.68 10 ⁻²	2.3010 ⁻²

تأثیر پارامترهای فرآیند

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_p d^2}$$

قانون کلمب (برای بارهای نقطه ای معتبر است)

$$F = qE$$

نیروی الکتریکی

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon d^2}$$

میدان الکتریکی (فضایی است که بر یک بار نیرویی از طرف بارهای موجود در این فضا وارد می شود.)

$$\Phi = \frac{dW}{dQ}$$

پتانسیل یک نقطه در فضا (کار لازم برای جابجایی یک ذره باردار باردار از یک نقطه مرجع به آن نقطه)

$$U_{1,2} = \Phi_2 - \Phi_1$$

ولتاژ بین دو نقطه

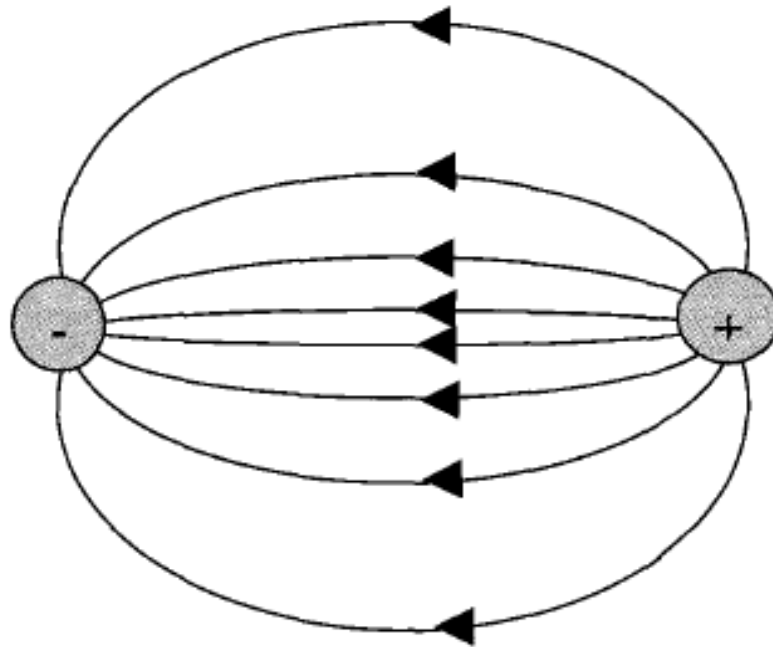


Fig. 2.9. Field line plot of a negative point charge and positive point charge.

ولتاژ

Voltage

- با افزایش ولتاژ، نیروهای الکترواستاتیکی وارد بر جت افزایش یافته و مطابق آن جت تحت نیروهای کشش دهنده بیشتری واقع می شود.
- از طرف دیگر با افزایش ولتاژ نیروی بیشتری به قطره پلیمری آویزان در نوک ریسنده وارد و محلول پلیمری بیشتری خارج شده که این باعث افزایش قطر جت و قطرالیاف نهایی می شود.
- اما در اثر تقابل این دو نیرو در ولتاژهای بالا، مخلوطی از الیاف با قطرهای متفاوت جمع آوری شده اند.
- در ولتاژهای بالا چون نیروهای کشش دهنده بسیار زیاد شده اند، حضور الیاف با قطرهای بسیار کم نیز مشاهده شده است.

ولتاژ بحرانی

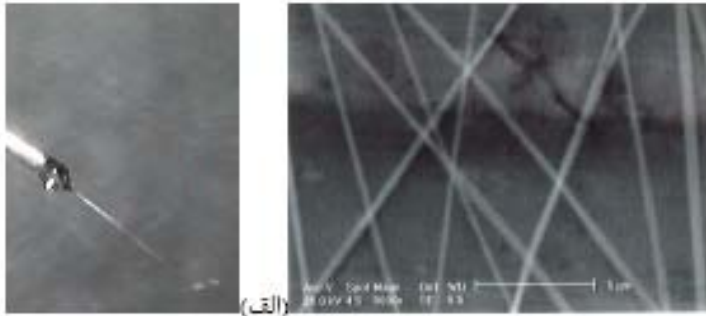
Critical voltage

- ولتاژ بحرانی ولتاژی است که در آن نیروهای الکترواستاتیکی عمل کننده به سطح قطره ای که در نوک ریسنده آویزان است، بر نیروی کشش سطحی قطره و نیروی ویسکوالاستیک غلبه کرده و جریان الکتروروسی آغاز می گردد.
- طبق معادله تیلور می توان این ولتاژ (V_c) را محاسبه نمود.

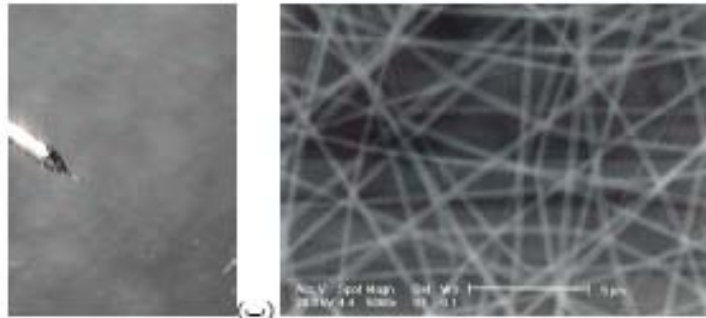
$$V_c^2 = 4 \frac{H^2}{L^2} \left(\ln \frac{2L}{R} - 1.5 \right) (0.117 \pi R \gamma) \quad (i)$$

- H فاصله ریسندگی
- L طول ریسنده
- R شعاع ریسنده
- γ کشش سطحی محلول

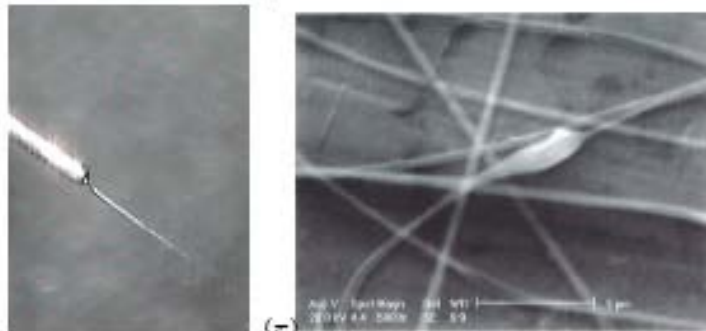
9Kv



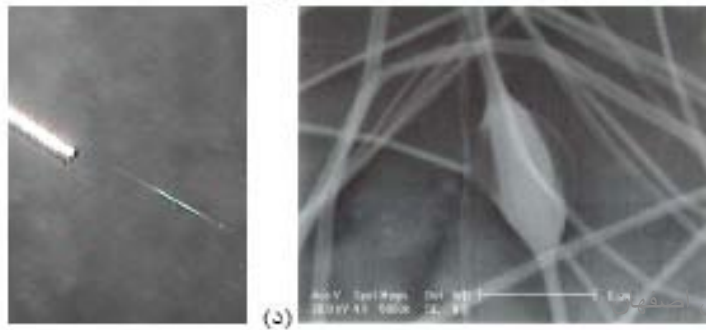
10Kv



11Kv



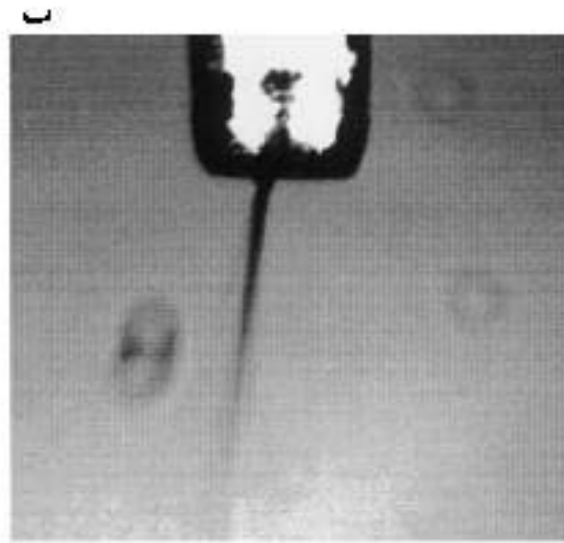
12Kv



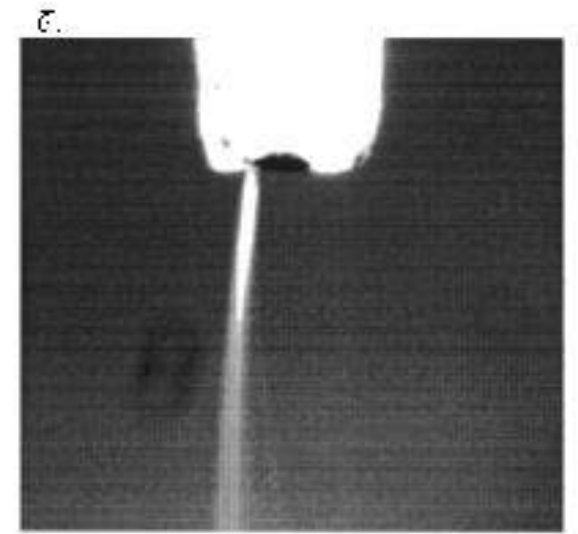
• تصاویر تاثیر افزایش ولتاژ بر جت و ساختار نانوالیاف حاصله در شرایطی که سرعت تغذیه ثابت است.



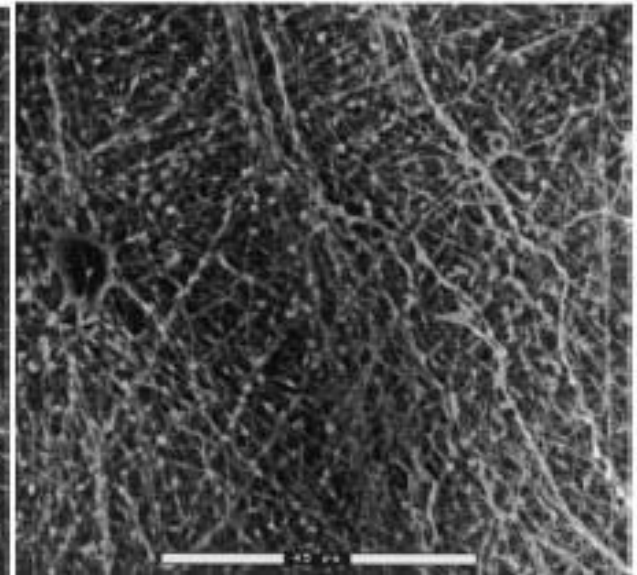
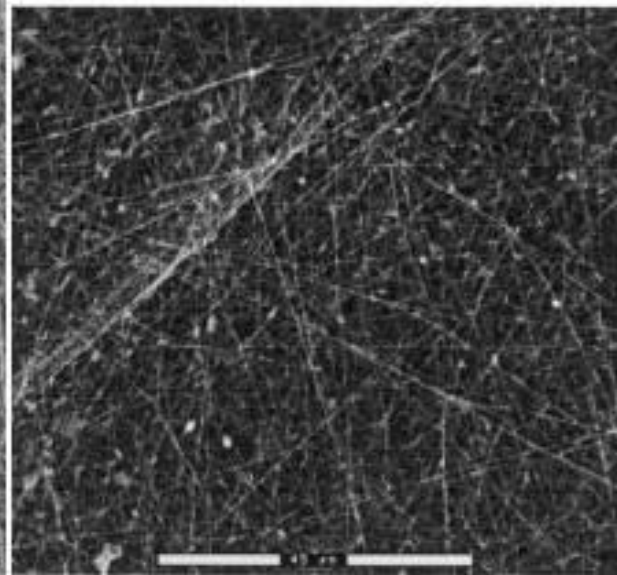
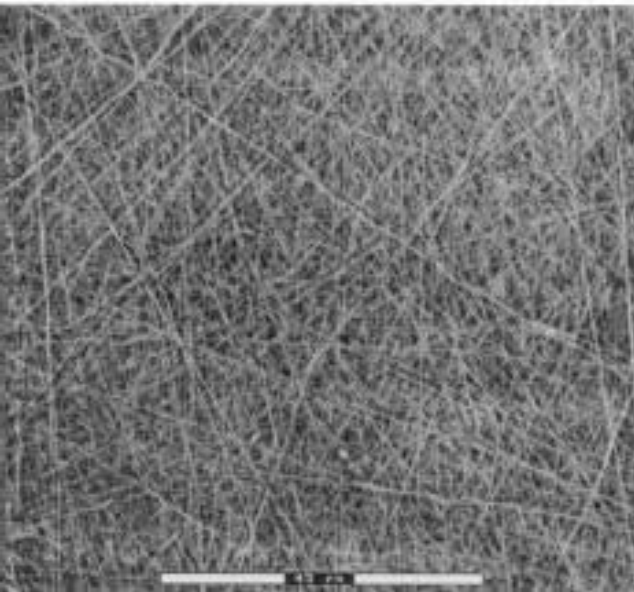
Initiating Jet: 5.5 kV

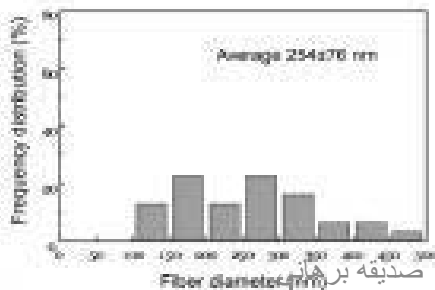
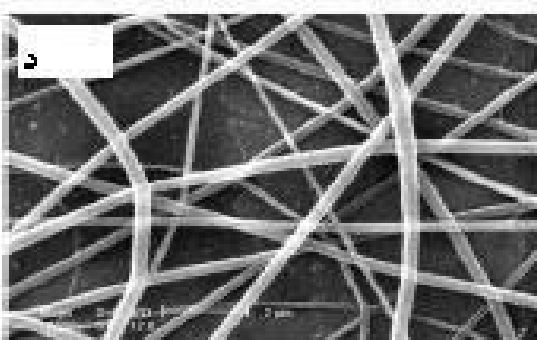
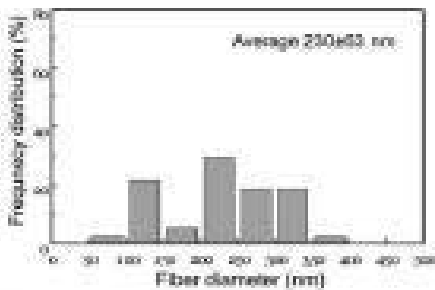
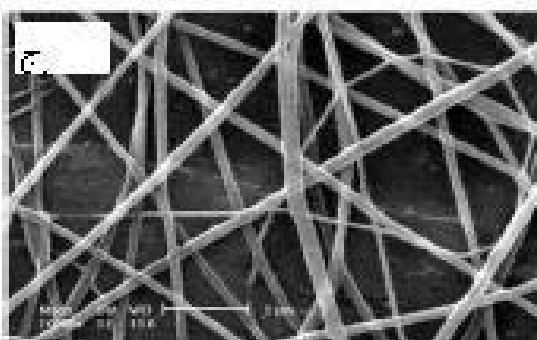
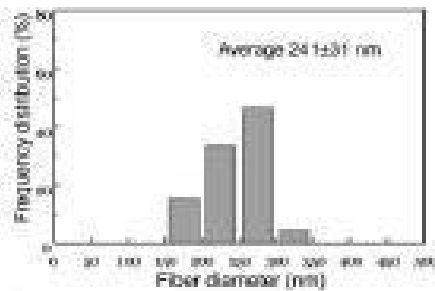
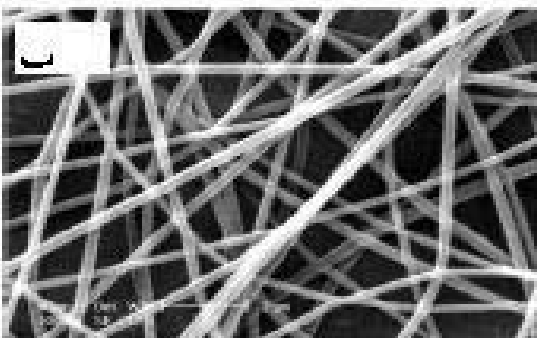
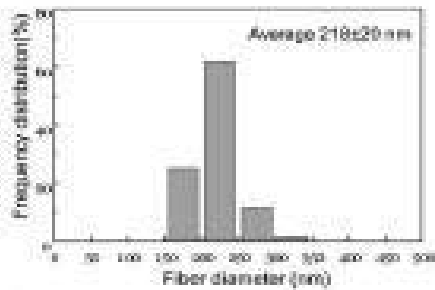
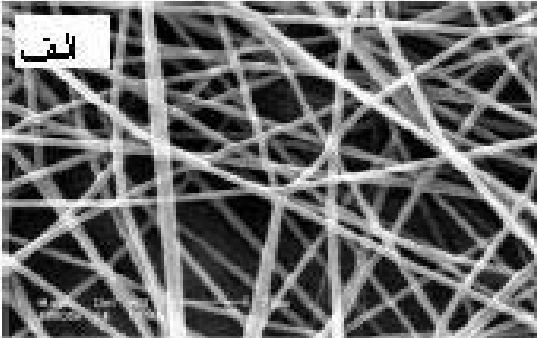


Initiating Jet: 7.0 kV

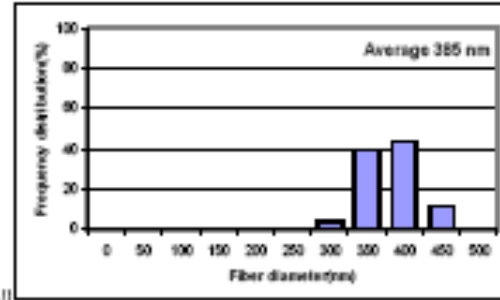
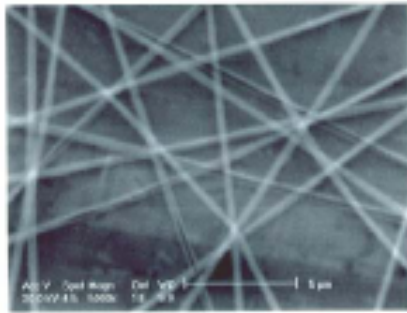


Initiating Jet: 9.0 kV

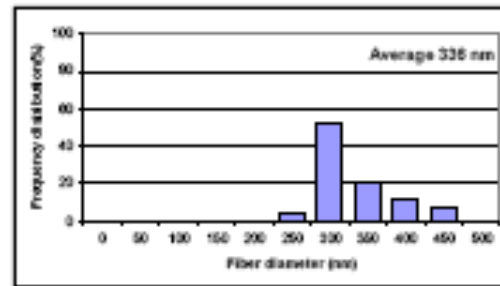
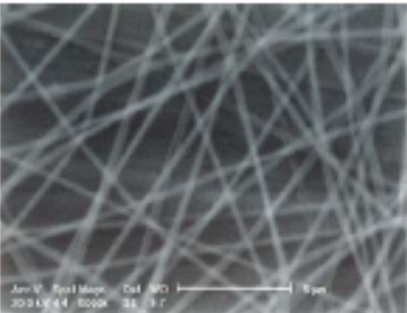




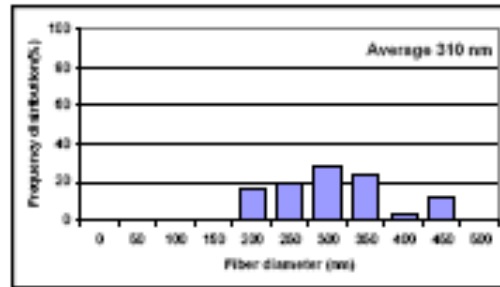
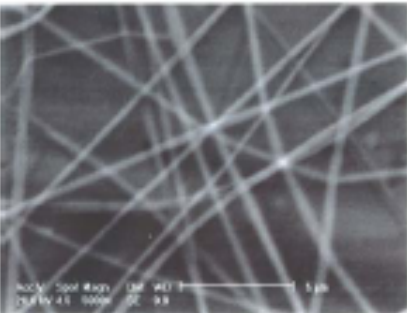
- تصاویر الیاف PVA الکترورسی شده در ولتاژهای مختلف به همراه توزیع قطری.



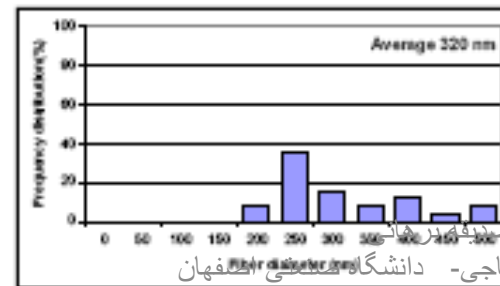
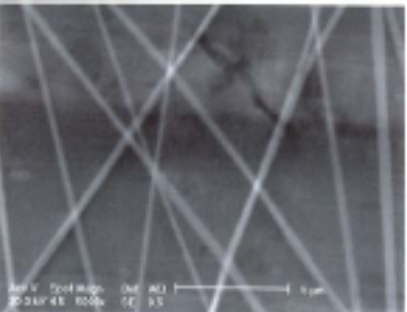
الف)



ب)

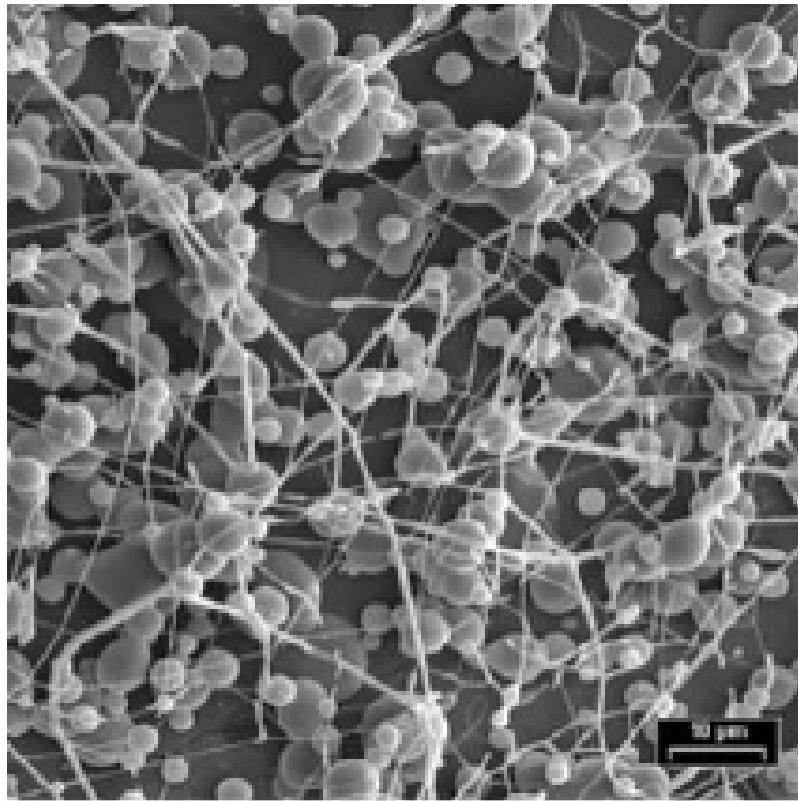


ج)

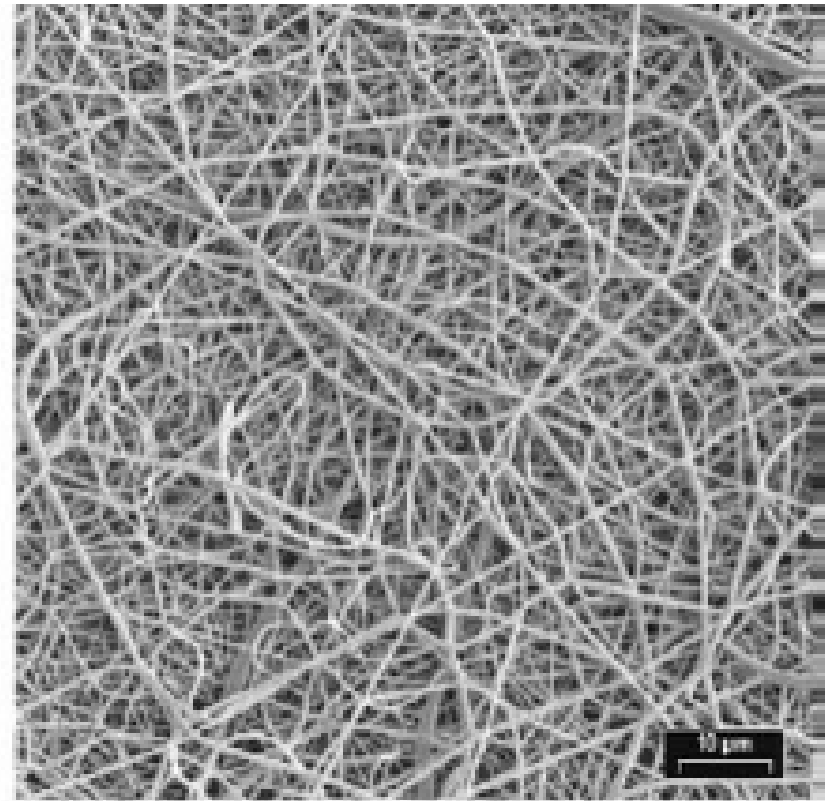


د)

- تصاویر الیاف PAN الکتروریسی شده در ولتاژهای مختلف به همراه توزیع قطری در شرایطی که بالانس جرمی حفظ شده است.



(a)



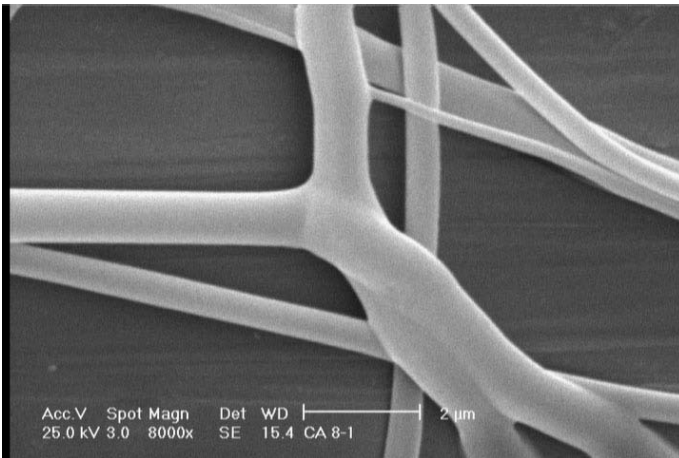
(b)

Figure 3.10 Poly(ϵ -caprolactone) (PCL) nanofibers electrospun from 5 wt% solution in CHCl_3 at a gap distance of 7.5 cm. The applied voltages in the two panels are (a) 20 kV and (b) 25 kV. Reprinted with permission from Hsu and Shivkumar (2004a). Copyright 2004. Springer.

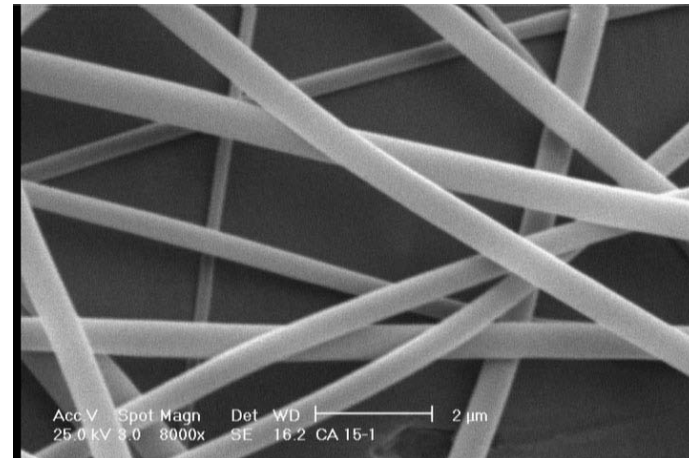
فاصله ریسندگی

Distance between tip and collector

- تاثیر فاصله ریسندگی بر قدرت میدان الکتریکی، تبخیر و جامد شدن نانوالیاف است.



۸cm



۱۵cm

اثر فاصله ریسندگی بر ساختار نانوالیاف سلولز استات.

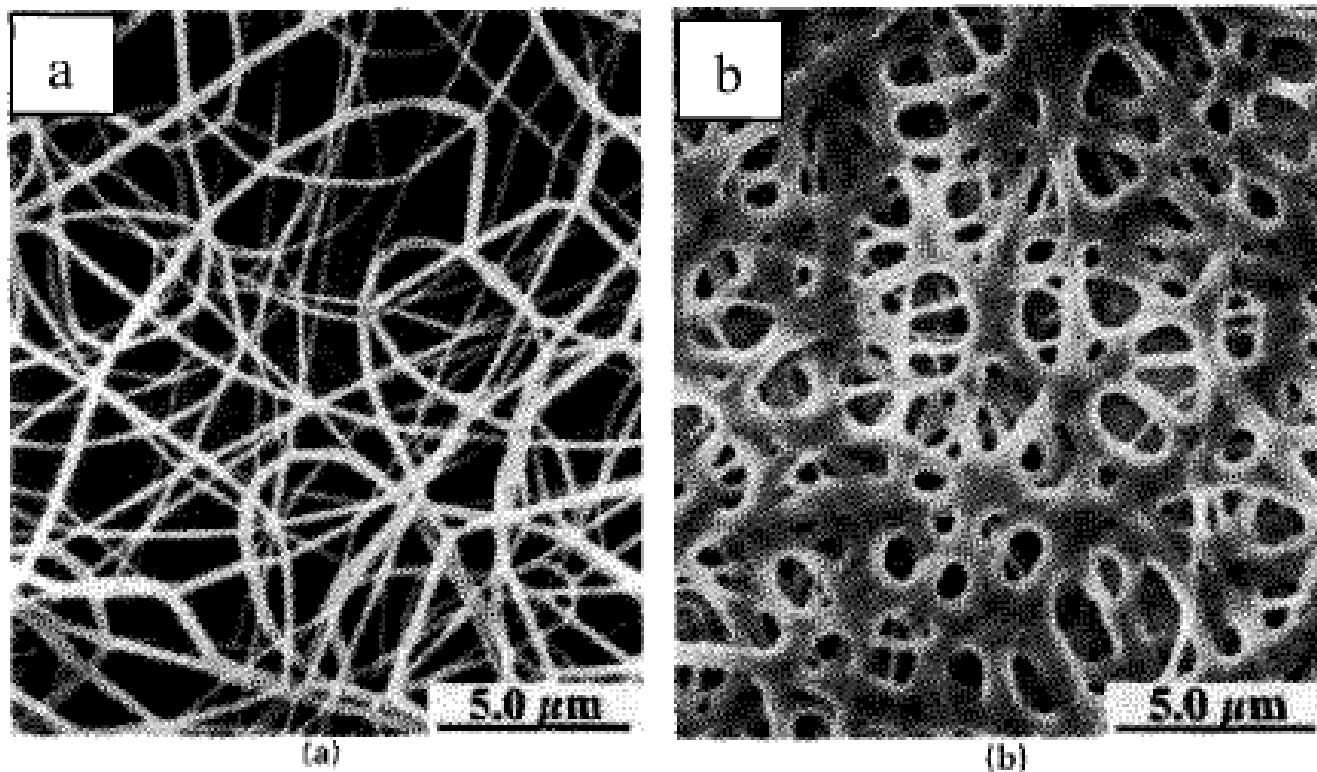
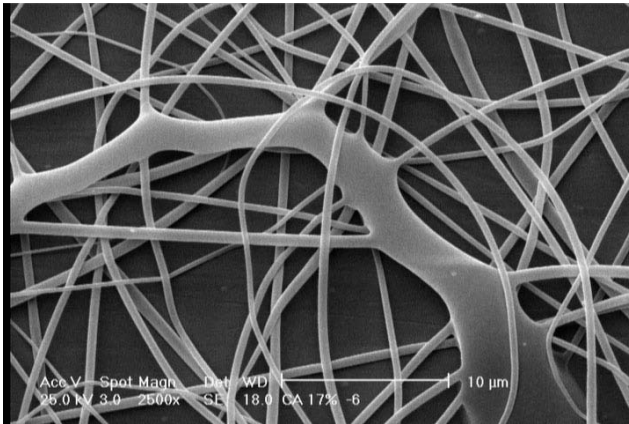


Fig. 3.7. Nylon 6,6 at (a) 2 cm deposition distance and (b) 0.5cm deposition distance [Buchko et. al. (1999)].

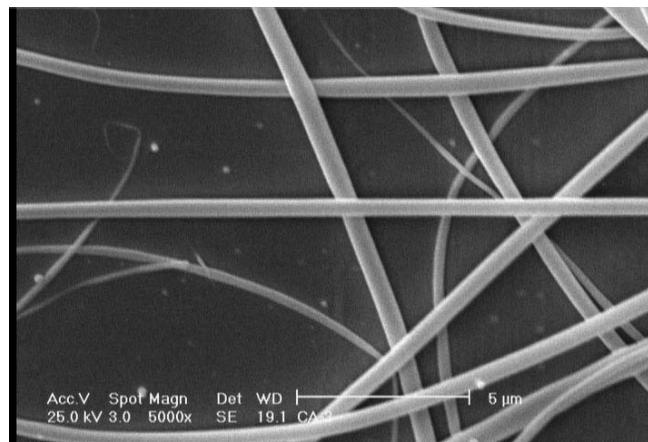
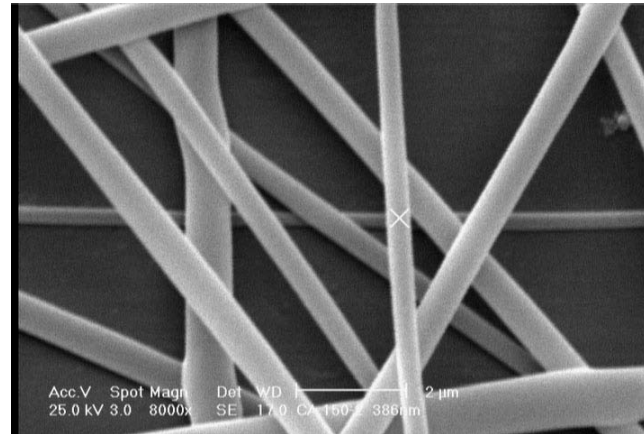
نرخ تغذیه محلول پلیمر

Feed rate of polymer

2.59 ($\mu\text{l}/\text{min}$)



1.2 ($\mu\text{l}/\text{min}$)



0.43 ($\mu\text{l}/\text{min}$)

سرعت تغذیه بر ساختار نانوالیاف سلولز استات.
صدیقه برهانی
دانشکده مهندسی نساجی - دانشگاه صنعتی اصفهان

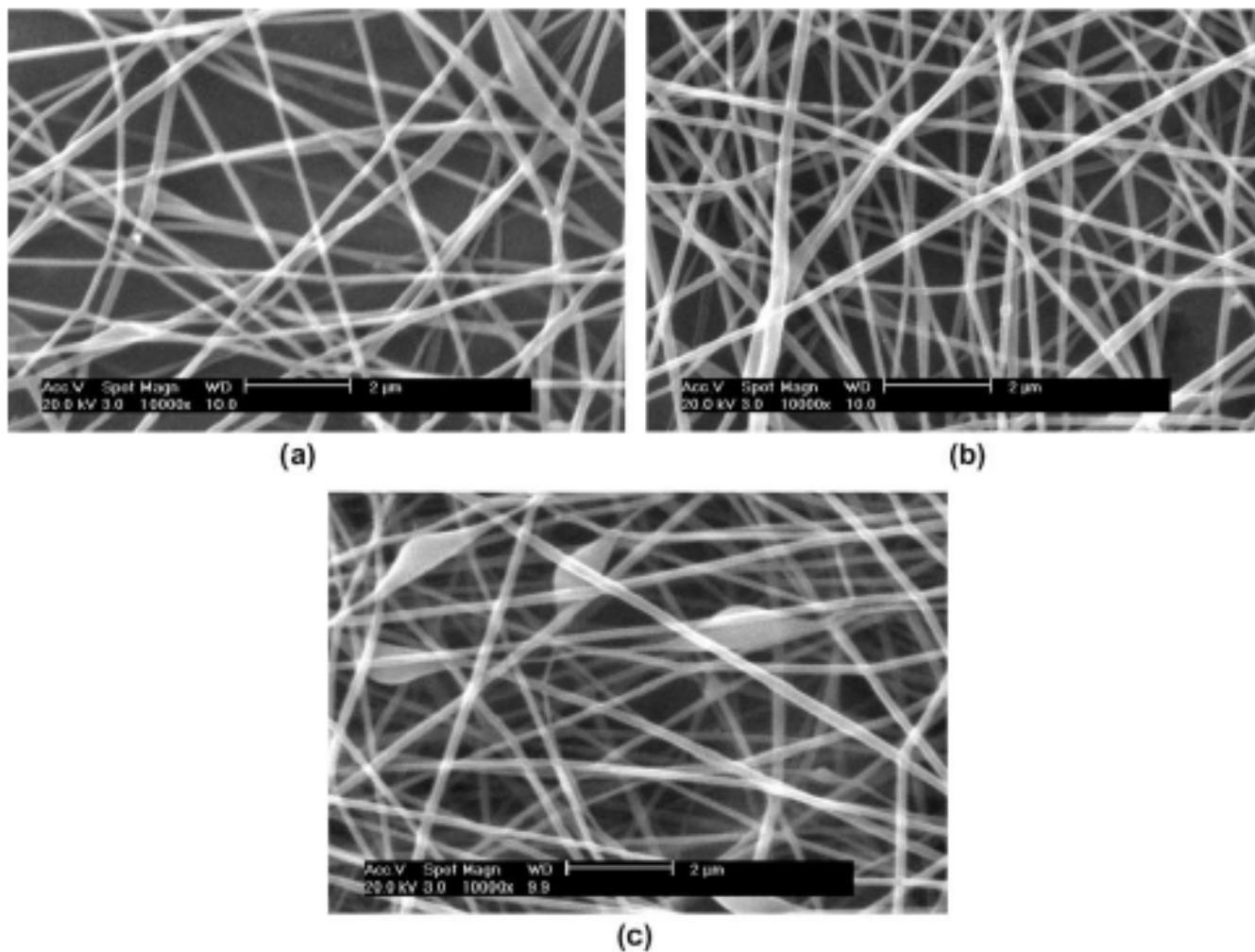


Fig. 3. Effect of flow rate of 7% PVA water solution on fiber morphology (DH = 98%, voltage = 8 kV, tip–target distance = 15 cm). Flow rate: (a) 0.1 ml/h; (b) 0.2 ml/h; (c) 0.3 ml/h. Original magnification 10kx.

تأثير ريسنده

Capillary Tip

با افزایش قطر سوزن و ثابت ماندن سایر عوامل، بارهای سطحی الکتریکی در نوک سوزن سرنگ، کاهش یافته و باعث کمتر شدن نیروهای الکترواستاتیکی جهت غلبه بر کشش سطحی قطره می شوند. نتیجه این امر افزایش قطر نانوالیاف می باشد.

TABLE 4.4 The effect of capillary tip orifice size on electrospinning of (lactide-co- ϵ -caprolactone) copolymer

Needle	Diameter (mm)	Observation (Mo et al. 2004)	Fiber Diameter, d (nm) (Katti et al. 2004)
16G	1.19	—	240
18G	1.2	Beads and clogging	
20G	0.84	—	145
21G	0.8	Occasional clogging	
22G	0.7	Clogging rarely	
	0.58	—	135
27G	0.4	No clogging	

Source: Mo et al. 2004. Estimated from Fig. 4.2 (Katti et al. 2004).

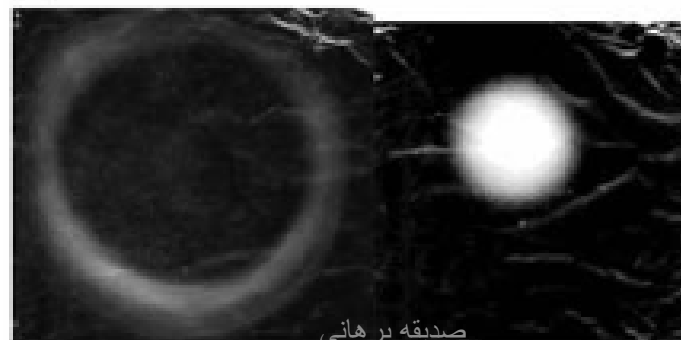
Polarity of the Tip

- نوع بار ریسنده بر قطر نانوالیاف و دانسیته سطحی وب جمع آوری شده موثر است.

TABLE 4.3 The effect of polarity on the average diameter of PAN nanofibers electrospun from DMF solutions

Solvent	Polarity	Average Nanofiber Diameter (nm)			
		10 wt%	20 wt%	30 wt%	40 wt%
<i>m</i> -Cresol	+	110 ± 7	166 ± 11	170 ± 10	201 ± 17
	-	181 ± 17	286 ± 26	331 ± 32	334 ± 28
Acetic acid	+	94 ± 8	106 ± 10	120 ± 12	236 ± 49
	-	232 ± 25	232 ± 75	248 ± 70	266 ± 66
Ethanol	+	91 ± 8	115 ± 15	—	—
	-	200 ± 22	221 ± 30	—	—

Source: Based on data from Supaphol et al. 2005a.



تأثير منبع ولتاژ قوى مستقيم (DC) و متناوب (AC)

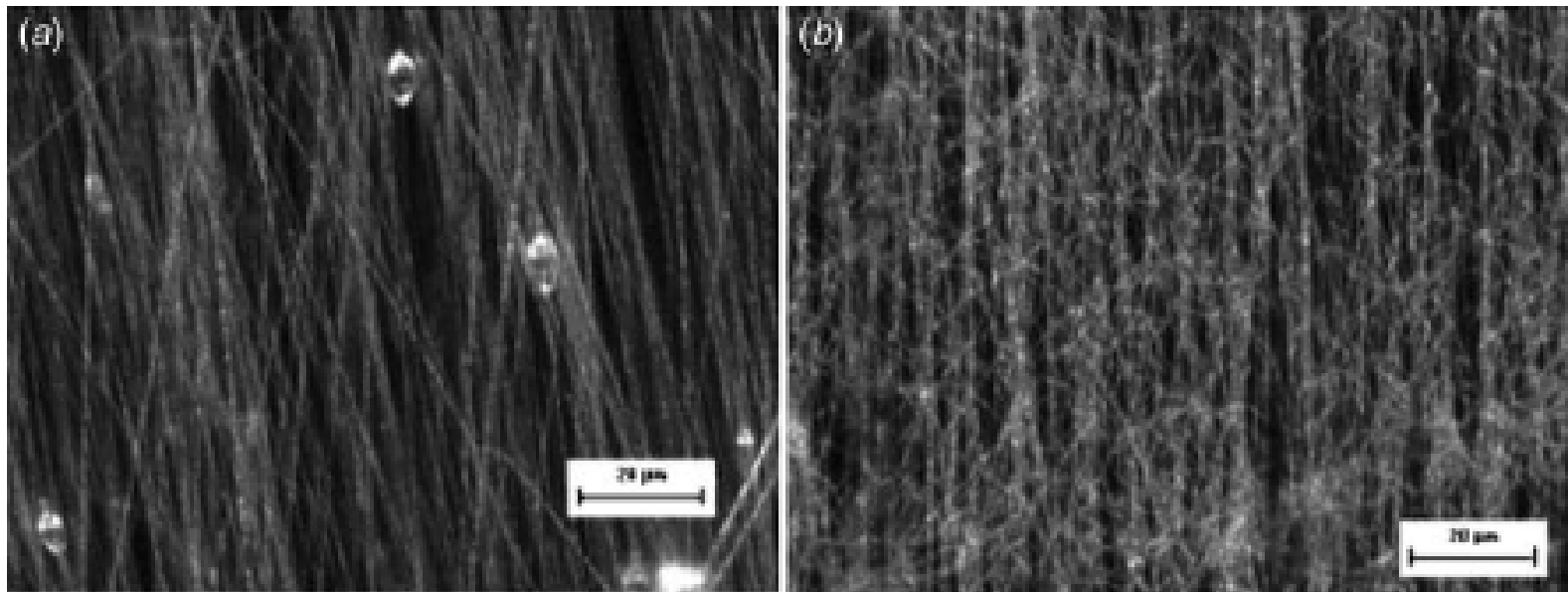


Figure 4.12 PEO nanofiber mats electrospun under identical conditions except (a) +7500 V AC was applied and (b) 7000 V DC was applied, showing differences in fiber alignment. Reproduced with permission from Kessick et al. (2004). Copyright 2004. Elsevier.

تأثیر جمع کننده Collector

- در الکتروریسی بین منبع و جمع کننده باید یک میدان الکتریکی وجود داشته باشد، لذا در اغلب سیستم های الکتروریسی جنس جمع کننده از مواد هادی انتخاب می شود.
- شکل و جنس (خواص دی الکتریک) جمع کننده بر ساختار و دانسیته سطحی وب تشکیل شده اثر گذار است.

شرایط محیطی

Ambient parameters

- میزان رطوبت نسبی، جنس گاز مجاور، شرایط خلاء، سرعت هوای مجاور و درجه حرارت بر مورفولوژی و ساختار نانویاف حاصل موثر است.
- در رطوبت های بالا ممکن است آب بر سطح یاف در حین الکتروریسی کندانس بشود و باعث تغییر مورفولوژی یاف خصوصاً پلیمرهای حل شده در حلالهای فرار شود.
- سطح نانو یاف حاصل از محلول پلی سولفون در تتراهیدرا فوران در رطوبت نسبی ۵۰٪ صاف بوده در حالیکه با افزایش رطوبت نسبی یافی متخلخل تولید شده است.
- رطوبت همچنین نرخ تبخیر حلال را از محلول پلیمری تعیین می کند.
- در رطوبت های کم، حلال فرار سریع تبخیر می شود و در نتیجه بخاطر جامد شدن محلول در نوک ریسنده، الکتروریسی خیلی استمرار نخواهد داشت.
- افزایش درجه حرارت **تاثیر** مستقیم **بر** ویسکوزیته محلول پلیمری دارد و با افزایش دما ویسکوزیته **کمتر** شده بید کمتر، یاف یکنواخت تر و **ظریفتر** تر تولید خواهند شد.

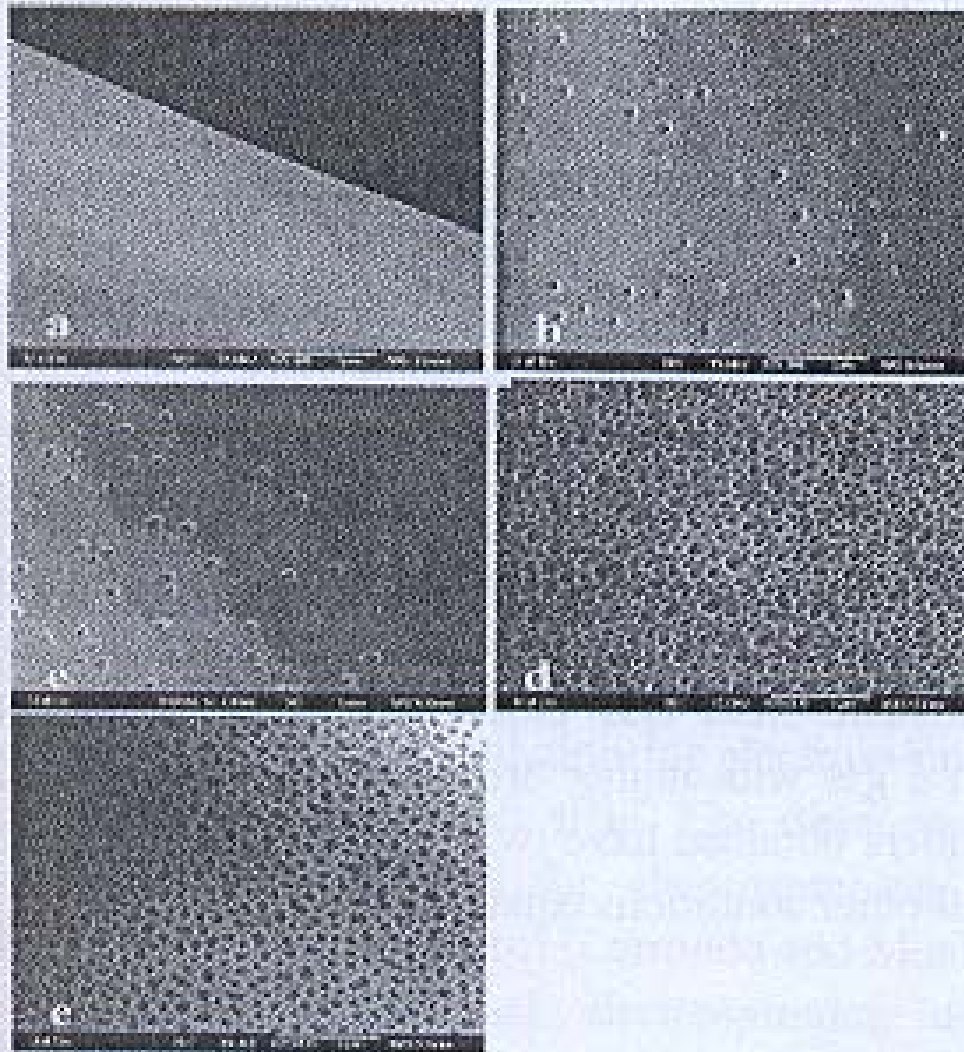
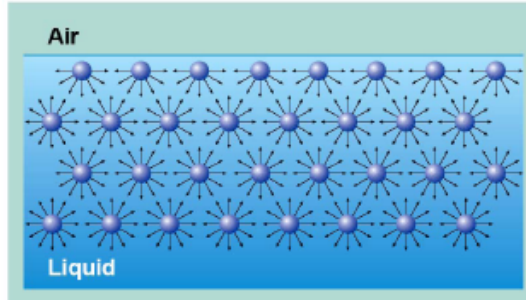


Fig. 3.8. FESEM micrographs of 190 000 g/mol Polysulfone/Tetrahydrofuran fibers electrospun under varying humidity: (a) $< 25\%$, (b) 31-38%, (c) 40-45%, (d) 50-29%, (e) 60-72% [Casper et. al. (2004)]

صديقه برهانی
دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده مهندسی نساجی

کشش سطحی چیست؟

وقتی مایع با هوا در تماس است ، فاز مایع به نحوی قرار می گیرد که گویا با پوسته ای نازک و تحت کشش ، پوشیده شده است . مولکولهای مایع در داخل فاز مایع بطور یکسان از همه سمت تحت تأثیر مولکولهای پیرامونش قرار می گیرند ، در صورتیکه



مولکولهای واقع در سطح مایع فقط تحت تأثیر مولکولهای زیرین قرار می گیرد : لذا مولکولهایی که در معرض هوا قرار گرفته اند رفتار متفاوتی از خود نشان می دهند و سعی می کنند به هم فشرده شده و کمترین جای ممکن را اختیار کنند. کشش سطحی که از خواص هر مایع است به صورت نیرویی که بر

واحد سطح مایع (عمود بر نیرو) وارد می شود ، تعریف می گردد.

چرا کشش سطحی را اندازه گیری می کنند؟

دانستن برهم کنش هایی که بین سطوح وجود دارد ، نقش حیاتی در تحقیقات علم مواد (شاخه سطح) و نیز توسعه در تولید محصولات و بهینه سازی فرایندها ، بازی می کند. با پیشرفت هایی که در تکنولوژی مهندسی سطح حادث شده است ، امکان این وجود دارد که بتوان سطح هر مایع یا جامدی را برای کارهای مورد نظر خود تغییر داد .



behaviour of a water on a waxed surface

با دانستن کشش سطحی ، می توان اطلاعاتی راجع به قابلیت شستشو ، رطوبت پذیری ، قابلیت امولسیون و قومی شدن موادو نیز سایر فرآیندهایی که به سطح بستگی دارد ، بدست آورد. پیشرفت انواع واکنش های شیمیایی یا واکنش پذیری سورفکتنت ها در سیستم های مایع را می توان با اندازه گیری کشش سطحی آن دنبال کرد. کشش سطحی ، اطلاعاتی را نیز در مورد رفتار آب گریزی ، مقاومت امولسیونها ، واکنشهای اکسیداسیون و پلی مریزاسیون و ... می دهد.