



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

## نمایشگرهای الکتروفور تیک (EPD)<sup>۱</sup>

نمایشگر<sup>۲</sup> یک دستگاه خروجی برای نمایش اطلاعات به صورت دیداری یا حس کردنی (مانند صفحه نمایش بریل برای نابینایان می‌باشد. تصاویر رنگی یا سیاه‌سفید می‌توانند بوسیله دستگاه‌های مختلفی که سیگنال‌های الکتریکی را به‌عنوان ورودی گرفته و تصاویر روی صفحه نمایشگر تولید می‌نمایند، نمایش داده می‌شوند. در میان نمایشگرها، نمایشگر الکتروفور تیکی<sup>۳</sup> یا کاغذ الکترونیکی<sup>۴</sup> به طیفی از فن‌آوری‌های صفحه نمایش گفته می‌شوند که تصویری شبیه اثر جوهر بر روی کاغذ را به‌وجود می‌آورند. شباهت زیاد آن با کاغذ به‌حدی است که حتی از همان مواد رنگی مصرفی در صنعت چاپ بهره می‌برد. نمایشگرهای الکتروفور تیک بصورت فعال<sup>۵</sup> و غیرفعال<sup>۶</sup> عمل می‌کنند. به‌این‌صورت که نمایشگرهای غیرفعال تصویر خود را بدون نیاز به مصرف برق نگه می‌دارد و در نمایشگرهای فعال از یک جریان الکتریکی مشخص برای نمایش دادن تصویر استفاده می‌شود [1]. این نمایشگرها همانند کاغذهای معمولی و برعکس صفحه نمایش‌های معمولی که از خود نور دارند تنها نور محیط را انعکاس می‌دهند. بسیاری از این کاغذها می‌توانند بدون استفاده از الکتریسیته به مدت نامحدودی نوشته‌ها و تصاویر ثابت را نشان دهند. خواندن کاغذهای الکترونیکی به‌خاطر ثابت‌نبودن دائمی تصاویر، زاویه<sup>۷</sup> دید بزرگتر و انعکاس نور محیط به جای تابش نور از صفحه نمایش، آسان‌تر از صفحات نمایش معمول می‌باشند. نوشته‌های یک کاغذ الکترونیکی خوب در نور آفتاب محو و کمرنگ نمی‌شوند. نسبت تباین کاغذهای الکترونیکی که تا سال ۲۰۰۸ ارائه شده‌اند شبیه روزنامه است، اگرچه این نسبت در کاغذهای الکترونیکی نوین‌تر، اندکی بهتر است. البته نباید کاغذ الکترونیک را با کاغذ دیجیتال که صفحه‌ای برای ایجاد اسناد دیجیتال دست‌نویس با استفاده از قلم

---

<sup>1</sup> Electrophoretic Display

<sup>2</sup> Display Device

<sup>3</sup> Electronic Display

<sup>4</sup> E- Paper

<sup>5</sup> Active

<sup>6</sup> Passive

دیجیتال است، اشتباه گرفت. از این رو در تکنولوژی نمایشگرهای EPD، امروزه توجه بسیاری به "کاغذهای الکترونیکی" معطوف شده است [2-6]. شکل 1-1 نمونه‌ای از کاغذ الکترونیکی را نشان می‌دهد [7].

در دهه‌های گذشته توجه زیادی به نمایشگرهای الکتروفورتیک (EPDS) به جای کاغذ معمولی به دلیل هزینه پایین، وزن کم، مصرف انرژی کم و ایمنی آن شده است. EPDS از جمله نمایشگرهای انعکاسی است که بر پایه مهاجرت ذرات سوسپانسیونی باردار در سیال دی‌الکتریک به سمت الکتروود با بار مخالف عمل می‌نماید و به این پدیده الکتروفورزیس<sup>۱</sup> می‌گویند [2, 7-9].

اصطلاح الکتروفورزیس به حرکت ذرات باردار معلق<sup>۲</sup> در یک سیال سوسپانسیونی تحت تأثیر میدان الکتریکی بکارگرفته شده اشاره دارد. هرگاه میدان الکتریکی بین الکتروودها در یک سل بکار رود، ذرات با توجه به بارالکتریکی، مهاجرت کرده و سیال سوسپانسیونی پایدار باقی می‌ماند [2, 10].

در نمایشگرهای بر پایه جوهرهای الکتروفورتیک، ذرات و سیال سوسپانسیونی موجود در کپسول‌ها یا میکروکپسول‌ها تحت تأثیر یک میدان الکتریکی اعمال شده، مهاجرت می‌نمایند [11, 12]. بطور کلی نمایشگرهای الکتروفورتیک، حاوی سوسپانسیون رنگی یا ذرات باردار شده مرئی دیسپرس شده در یک محیط دی‌الکتریک هستند که تباین رنگی<sup>۳</sup> را، در یک سل شامل دو الکتروود رسانا با صفحات شفاف و موازی که با فاصله مشخص در حدود میکرون قرار گرفته‌اند، پدید می‌آورد.

از سال 1960، نمایشگرهای تصویر الکتروفورتیک<sup>۴</sup> (EPDS) به‌عنوان نوعی از صفحه نمایش انعکاسی گسترش یافت که تصاویر آن‌ها را می‌توان بارها و بارها بصورت الکتریکی نوشته و یا پاک کرد. این فن‌آوری دارای چندین مزیت از جمله زاویه دید وسیع و نسبت تباین بالا است که مشابه کاغذهای چاپ شده هستند. بنابراین EPDS نخستین و اصلی‌ترین انتخاب در ساخت کاغذهای الکترونیکی می‌باشد. اما از مشکلات جدی آن‌ها که به لحاظ صنعتی این فن‌آوری را محدود می‌کرد می‌توان به قابلیت اطمینان از کیفیت تصویر و طول عمر ناشی از خوشه‌ای شدن ذرات، کلوخه‌شدن و تجمع اشاره نمود.

---

<sup>1</sup> Electrophoresis

<sup>2</sup> Suspended

<sup>3</sup> Color Contrasting

<sup>4</sup> Electrophoretic Displays

به تکنولوژی جوهر الکترونیکی (E-Ink) معمولاً دوپایا<sup>1</sup> نیز گفته می‌شود. مفهوم دوپایا این است که تصویر روی صفحه E-Ink حتی بعد از قطع برق، همچنان باقی خواهد ماند. در عمل، این بدان مفهوم است که صفحه نمایش فقط زمانی برق مصرف می‌کند که بخواهد تغییری در صفحه رخ دهد. برای مثال، هنگام مطالعه کتاب با یک دستگاه کتابخوان<sup>2</sup>، فقط موقع ورق زدن برق مصرف می‌شود، اما وقتی در حال مطالعه یک صفحه هستید صفحه نمایش هیچ برقی مصرف نمی‌کند [13, 14]. این مساله به ویژه زمانی که کتابخوان به حالت خواب می‌رود بسیار حائز اهمیت است، چرا که در این حالت نیز فقط یک تصویر ثابت نمایش داده می‌شود. اما در یک صفحه نمایش LCD<sup>3</sup> معمول، بدون توجه به اینکه آیا تصویر جدیدی باید نمایش داده شود یا خیر، صفحه باید بطور مداوم حدود ۳۰ بار در ثانیه بازیابی شود. این ویژگی، مصرف برق در صفحه نمایش‌های E-Ink را بطور چشمگیری کاهش می‌دهد و دقیقاً به همین دلیل است که دستگاه‌های کتابخوان دوام باتری فوق‌العاده زیادی دارند.

شکل 1-2 نمایشگر الکتروفورتیک میکروکپسول ذرات سفید با بار منفی در سیال آبی رنگ<sup>4</sup> که برای اولین بار در سال 1997 نمایش داده شد، را نشان می‌دهد.

### 1.1.1 تفاوت صفحه نمایش‌های انعکاسی<sup>5</sup> و تابشی<sup>6</sup>

به صفحه نمایش‌های E-Ink صفحه نمایش‌های انعکاسی نیز گفته می‌شود. در یک صفحه نمایش LCD یا تابشی نور از یک منبع نور در پشت صفحه به طرف چشم‌های بیننده می‌تابد. اما در یک صفحه نمایش E-Ink هیچ نوری از پشت صفحه تابیده نمی‌شود، بلکه نور محیط اطراف از سطح صفحه نمایش به سمت چشم‌های مشاهده‌کننده منعکس می‌شود. همانند هر سطح انعکاسی دیگر، هر چه نور محیط بیشتر باشد صفحه نمایش روشن‌تر دیده خواهد شد. این ویژگی در واقع تقلیدی از همان کاغذ و جوهر معمولی است و دقیقاً به همین خاطر است که کاربران صفحه نمایش‌های E-Ink اذعان دارند که هنگام مطالعه طولانی مدت با این صفحه نمایش‌ها،

<sup>1</sup> Bistable

<sup>2</sup> E-Reader

<sup>3</sup> Liquid Crystal Display

<sup>4</sup> Blue Color

<sup>5</sup> Reflective

<sup>6</sup> Emissive

دیگر به اندازه صفحه نمایش‌های LCD چشم احساس خستگی نمی‌کند. از طرفی دیگر، نور پس زمینه<sup>1</sup> می‌تواند به تنهایی تا ۴۰ درصد از شارژ باتری بکار رفته در دستگاه‌های الکترونیکی را مصرف کند. بنابراین حذف نور پس زمینه در صفحه نمایش‌های E-Ink، دوام شارژ باتری را نسبت به صفحه نمایش‌های LCD قدیمی بطور چشمگیری افزایش می‌دهد. شکل 1-3 مقایسه تصویر در دو صفحه نمایش E-Ink و LCD را نشان می‌دهد.

### 2.1.1 مزایا و معایب نمایشگرهای الکتروفور تیک

بنابراین به‌عنوان مزایای این نمایشگرها، می‌توان گفت که این گروه از صفحه نمایش‌ها متکی بر انعکاس نور محیط بدون نیاز به نور پس زمینه می‌باشند و صفحه نمایش را می‌توان حتی در نور مستقیم خورشید و در زوایای دید وسیعی مشاهده کرد. این امر باعث می‌شود که صفحه نمایش راحت‌تر خوانده شود و همچنین بدلیل غیرفعال بودن این گروه، مصرف برق بسیار کم می‌باشد که بسیار مناسب برای E-book و E-reader ها می‌باشند. در مقابل مزایای ذکر شده، زمان بروزرسانی تصویر برای این نوع نمایشگر طولانی است و این امر نمایش سریع را غیرممکن می‌سازد.

### 2.1 میکروکپسول

انکپسولاسیون به‌عنوان یک تکنولوژی برای قرار دادن مواد جامد، مایع، گاز در کپسول‌های کوچک مطرح است. انکپسولاسیون بر اساس اندازه ذراتی که پوشش داده می‌شود به سه دسته نانوکپسول کردن (اندازه ذرات کمتر از 1 میکرون)، میکروکپسول کردن (اندازه ذرات بین 1 تا 1000 میکرون)، ماکروکپسول کردن (اندازه ذرات بیشتر از 1000 میکرون) تقسیم می‌گردد. در بین این سه گروه، میکروکپسول کردن کاربرد بیشتری دارد. میکروکپسول کردن فرآیندی است که ذرات و قطرات بسیار ریز به شکل کپسول‌های کوچکی از ویژگی‌های

---

<sup>1</sup> Backlight

مفید احاطه شده‌اند. ذراتی کوچک که از مواد داخل میکروکپسول به‌عنوان هسته<sup>1</sup> (فاز داخلی) در مقابل دیواره یکنواخت بنام پوسته<sup>2</sup> (پوشش<sup>3</sup> یا غشاء) تشکیل می‌شود. میکروکپسول کردن با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد مورد نظر، به روش‌های مختلفی تهیه می‌شوند. مواد نه‌تنها می‌توانند ویژگی‌هایی مانند: خصوصیات نوری، مغناطیسی، الکتریکی و غیره را در خود جای دهند، بلکه می‌توانند تحت تأثیر محرک‌های مختلف واکنش دهند.

هدف از میکروکپسول کردن، افزایش پایداری ذره در مقابل تجمع مواد و بهبود ویژگی آن‌ها است. بنابراین میکروکپسول‌های هسته-پوسته نویدهای روشنی از تهیه مواد "هوشمند"<sup>4</sup> جدید برای ارائه در حوزه‌های کاربردی میکروساختارها و میکروسیستم‌های هوشمند می‌دهند [17]. بسیاری از میکروکپسول‌های پاسخ-دهنده به محرک‌های محیطی مانند تغییرات دما [3-1]، pH [6-4]، نور [18]، میدان الکتریکی خارجی [4]، [5]، میدان مغناطیسی [5]، صوت [12]، شرایط اکسایش-کاهش [21]، قدرت یونی [22] و دیگر محرک‌ها گزارش شده‌اند. توجه به این میکروکپسول‌های "هوشمند" همچنان ادامه دارد.

به‌طور کلی اکثر میکروکپسول‌ها فقط از مواد تک‌فاز جامد یا مایع به‌عنوان فاز داخلی تشکیل می‌شوند [1]، [4]. از طرف دیگر، میکروکپسول‌های حاوی مواد چندفازی، بویژه سوسپانسیون تشکیل‌شده از مواد آلی و ذرات، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. کپسول‌های دربرگرفته‌شده حاوی مواد سوسپانسیون، از مواد تک‌فاز متفاوت هستند چراکه سازگاری تمام ترکیبات باید مورد توجه قرار گیرد.

## 1.2.1 روش‌های تولید نانو/ میکرو ذرات

روش‌های تولید نانو/ میکرو ذرات بویژه E-Ink به چهارگروه کلی تقسیم می‌شود:

1. نامحلول کردن<sup>5</sup>

2. توده‌ای<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Core

<sup>2</sup> Shell

<sup>3</sup> Coating

<sup>4</sup> Smart

<sup>5</sup> Desolvation

<sup>6</sup> Coacervation

3. امولسیون‌سازی<sup>1</sup>

4. الکترواسپری<sup>2</sup>

### 1.1.2.1 نامحلول کردن

در تهیه میکروکپسول الکتروفورتیک، روش نامحلول کردن روش پلیمریزاسیون درجا<sup>3</sup> نامیده می‌شود که از مهمترین روش‌های سنتز E-Ink بشمار می‌رود، از یک عامل نامحلول کننده برای تولید نانوذرات استفاده می‌گردد. نانوذرات تولیدشده در این روش، با استفاده از نیروی گریز از مرکز جداسازی می‌شود. از جمله پارامترهای مهم مورد بررسی در این روش می‌توان به تأثیر ساختار و خصوصیات ذره، سیالات مختلف روی حرکت الکتروفورتیکی ذرات رنگی، سطح فعال‌های مختلف روی ساختار میکروکپسول‌ها و سرعت هم‌زدن در فرآیند اینکپسولاسیون اشاره کرد [24].

پوسته میکروکپسول‌ها در روش پلیمریزاسیون درجا، معمولاً رزین‌های آمینوپلاست<sup>4</sup> مانند: ملامین-فرمالدئید [5-9]، اوره-فرمالدئید [10, 11]، اوره-ملامین-فرمالدئید [30] یا پلیمرهای رزورسینول-ملامین اصلاح‌شده-فرمالدئید [31] می‌باشند. فرآیند پلیمریزاسیون درجا در سال‌های اخیر توجه صنعتی، علمی و تحقیقاتی بیشتری را به خود اختصاص داده‌است [15-20].

### 2.1.2.1 توده‌ای کردن

این روش مشابه روش نامحلول کردن است با این تفاوت که از مخلوط محلول آبی با حلال آلی (مشابه استون یا اتانول) استفاده می‌شود. این حلال‌ها امکان ایجاد محصول با تجمع کم را میسر می‌سازد. تفاوت این روش با روش نامحلول کردن، در تنوع پارامترهایی است که روی خواص نانوذرات اثر می‌گذارند. این پارامترها عبارت از: غلظت محلول E-Ink اولیه، دما، pH، غلظت شکل‌دهنده پیوندهای عرضی، نسبت مولار E-Ink به حلال و نرخ افزودن حلال آلی می‌باشند.

---

<sup>1</sup> Emulsification

<sup>2</sup> Electrospray

<sup>3</sup> In Situ

<sup>4</sup> Aminoplasts

### 3.1.2.1 امولسیون سازی

روش های متنوع در این گروه شامل دیسپرسیون، امولسیون و میکروامولسیون می باشند. منظور از امولسیون، امتزاج یک فاز آبی و یک فاز روغنی است که به کمک امولسیفایر پایدار می شود. در روش تولید ذرات به کمک امولسیون سازی، بعد از ساخت امولسیون، حلال آبی تبخیر می گردد. در این روش امکان ایجاد ذرات در محدوده 50-100 نانومتر وجود دارد. این روش از جمله روش های پیچیده و زمان بر بوده که در آن نیاز به کنترل پارامترهایی نظیر ترکیبات منومر، شرایط واکنش و نوع امولسیفایر می باشد. از جمله عیوب دیگر این روش در تولید نانوذرات، استفاده از حلال آلی، جدا کردن و امکان سمی بودن آن می باشد. برخی از ذرات پلیمری حاوی مواد رنگی محلول در روغن با روش پلیمریزاسیون های مینی امولسیون تهیه شده اند [5-7]. با این وجود، رنگ این ذرات می تواند به طور خود به خودی به دلیل نفوذ ماده رنگی به داخل سیال، محو شود [5, 6].

### 4.1.2.1 الکترواسپری

الکترواسپری روشی کاملاً شناخته شده است که کاربردهای فراوانی مانند ساخت نانوذرات معدنی، لایه نشانی فیلم های لایه نازک، لایه نشانی نانوذرات، تولید نانو-میکروکپسول کردن و غیره دارد [36 و 37].

هدف این تکنولوژی همانند روش های شیمیایی انکپسوله کردن، محافظت مواد هسته فعال از محیط خارجی است. تکنیکی است که در آن با اعمال ولتاژهای بالا به نازل و صفحه جمع کننده و بوجود آوردن یک میدان قوی در جهت نیروی جاذبه می توان از سیالات با ویسکوزیته مشخص تحت میدان الکتریکی ذرات کوچک تولید کرد. در این روش توزیع اندازه قطرات توسط ولتاژ میدان الکتریکی کنترل می گردد.

استفاده از یک سیال هادی جریان الکتریکی سبب می شود که سطح خارجی مایع در دهانه نازل، تحت تأثیر و کنترل میدان الکتریکی ایجاد شده، با نیروی مشخصی به سمت صفحه جمع کننده کشیده و در نهایت با غلبه این نیرو بر کشش سطحی و پاره شدن سطح مایع، قطره ایجاد شود [37]. در این روش، امکان تولید ذرات منو دیسپرس وجود دارد. در شکل 1-4 نمایی از تشکیل میکروکپسول از طریق الکترواسپری با سوزن هم محور نشان می دهد [38].



در این روش، محلول یا مذاب (که اغلب پلیمر است) وارد افشانه یا نازلی رسانا که به یک پتانسیل الکتریکی جریان مستقیم در حد و اندازه های کیلوولت متصل است وارد می شود، با باردار شدن سیال، ذرات آن شتاب گرفته و از نوک قطره آویزان به سمت الکتروود مخالف که بار منفی یا الکتروود زمین است پرتاب می شوند. بسته به نوع سیال و شرایط فرآیند محصول مورد نظر نانوذرات می باشد. ترکیب ماده شیمیایی، خواص فیزیکی محلول، سرعت جریان مایع، قطر دهانه نازل، فاصله بین نازل و بستر جمع کننده، میزان اختلاف پتانسیل، پارامترهای عملیاتی کلیدی محسوب می شوند که بر قطر ذرات حاصل و ویژگی های آن تاثیر گذارند [39].

در تولید میکروذرات هسته- پوسته، دو یا تعداد بیشتری لوله موئین به پتانسیل الکتریکی یکنواخت (چند کیلوولت) متصل می شود که در لوله موئین داخلی ماده موثره و در لوله موئین خارجی پلیمر پوشاننده در جریان است. باریکه مایع های هم محور خارج شده از نوک سوزن یا نازل به کپسول یا قطرات چندلایه تبدیل می شود [40].

بنابراین انتخاب روش میکروکپسول کردن، روی اندازه ذرات و توزیع شان تأثیر می گذارد. اگرچه روش های سنتز شیمیایی، قابل استفاده برای قرارگرفتن ماده رنگی داخل پلیمرها هستند، لیکن بدست آوردن محصول خالص در بسیاری از موارد با توجه به واکنش همزمان بین منومرها و در نتیجه جدایی فاز، دشوار است. علاوه بر وقت گیر و پیچیده بودن، این روش ها نیاز به کنترل پارامترهای متعددی از قبیل ترکیب منومرها، شرایط واکنش، نوع امولسیفایر و غیره دارند [41].

### 3.1 جوهر الکترونیکی (E-Ink) یا جوهر الکتروفورتیک<sup>1</sup>

جوهر الکترونیکی در واقع حاصل تلفیق مستقیم علوم شیمی، فیزیک و الکترونیک است. ترکیب E-Ink برای نمایشگر الکتروفورتیک، حاوی ذرات الکتروفورزیس مثل مواد رنگی باردار، محیـــــط دیسپرسیون دی الکتریک، عامل کنترل بار و دیسپرس کننده می باشد [3, 5]. به منظور کنترل بار ذرات، عموماً از مواد کمکی کنترل بار که منجر به ظهور بارهای مثبت و یا منفی در سطح ذره می شوند، استفاده می گردد [43].

<sup>1</sup> Electrophoretic Ink

### 1.3.1 پارامترهای مؤثر در کیفیت تصویر در نمایشگر EPD حاوی E-ink

خواص ذرات الکتروفوریتیک عامل کلیدی در تعیین کیفیت تصویر خواهد بود. افزایش کیفیت تصویر نیاز به اندازه ذرات بسیار کوچک با توزیع اندازه باریک، بار سطحی بزرگ برای ایجاد و کنترل دقیق تصاویر، نسبت تباین بالا، پاسخدهی سریع تر به محرک ولتاژ اعمال شده، شفافیت<sup>1</sup> پلیمر بکار رفته در پوسته، پایداری نوری و دیسپرسیون پایدار جوهر و پارامترهای دیگر دارد. در نتیجه تحقیقات بسیاری روی اصلاح ذرات، مورفولوژی سطح، بارهای سطحی و پایداری فضایی صورت گرفته است.

همانطور که ذکر شد پایداری فضایی ذرات الکتروفوریتیک یکی از پارامترهای مهم در تعیین کیفیت تصویر است که از روی اندازه گیری پتانسیل زتا تعیین می شود. در واقع پتانسیل زتا عاملی برای ثبات بالقوه سامانه کلوئیدی است. اگر همه ذرات داخل سوسپانسیون دارای بار منفی و یا مثبت باشند، ذرات تمایل به دفع یکدیگر دارند و تمایلی به هم انباشتگی از خود نشان نمی دهند. تمایل ذرات با بار مشابه به دفع یکدیگر رابطه مستقیمی با پتانسیل زتا دارد. به طور کلی مرز پایداری و ناپایداری سوسپانسیون را می توان بر حسب پتانسیل زتا تعیین نمود. سوسپانسیون های حاوی ذراتی که پتانسیل زتای آنها از 30 میلی ولت بیشتر و یا از -30 میل ولت کمتر باشد، پایدارند.

### 2.3.1 مکانیزم تشکیل تصویر در نمایشگر EPD حاوی E-ink

زمانی که میدان الکتریکی در سراسر یک الکترولیت اعمال می شود، ذرات باردار معلق درون الکترولیت، جذب الکتروود با بار مخالف می شوند. در این زمان، نیروهایی در برابر این جابجایی مقاومت نموده و با حرکت ذرات باردار مخالفت می کنند. وقتی بین نیروی جابجایی ذرات و نیروی مخالف حرکت ذرات با هم در حال رقابت باشند، ذرات با سرعت ثابتی درون الکترولیت حرکت می کنند که به سرعت حرکت ذرات در یک میدان الکتریکی، اصطلاحاً تحرک الکتروفوریتیک گفته می شود. حال اینکه جوهر الکترونیکی از میلیون ها میکروکپسول بسیار ریز تشکیل شده است. به عنوان مثال در نمایشگرهای سیاه- سفید، میکروکپسول های حاوی ذرات سفید با بار مثبت و ذرات سیاه با بار منفی معلق در یک مایع شفاف است.

---

<sup>1</sup> Transparency

هنگامیکه این سوسپانسیون تحت میدان الکتریکی مثبت یا منفی مابین دو الکترود قرار می‌گیرند، ذرات باردار سفید یا سیاه بسته به میدان اعمال شده به بالای میکروکپسول حرکت کرده و در معرض دید بیننده قرار می‌گیرند. به این ترتیب آن نقطه از صفحه سفید یا سیاه به نظر می‌رسد.

### 3.3.1 اجزای نمایشگر الکتروفورتیک حاوی میکروکپسول E-ink

یک نمایشگر EPD برای نشان دادن یک تصویر با کیفیت، از اجزای مختلفی تشکیل می‌شود. شکل 1-6 و جدول 1-1 به ترتیب نمای کلی از یک نمایشگر الکتروفورتیک حاوی میکروکپسول سفید و سیاه E-ink و اجزای آن را در میدان الکتریکی نشان می‌دهد.

امروزه اگرچه محصولات نمایشگرهای الکتروفورتیک میکروکپسول شده سفید و سیاه با موفقیت تجاری شده‌اند، ولی در حال حاضر نمی‌توانند احتیاجات بازار صفحه نمایش را برآورده نمایند. به همین دلیل بسیاری از مطالعات اخیر روی تهیه میکروکپسول‌های رنگی متمرکز شده‌اند.

### 4.3.1 ذرات الکتروفورتیک سه‌رنگی برای نمایشگرهای رنگی<sup>1</sup> (CEPD)

صفحه نمایش تمام‌رنگی را می‌توان با تقسیم هر یک از عناصر تصویر در نمایشگرهای الکتروفورتیک سفید و سیاه و قراردادن فیلترهای رنگی افقی به صورت آرایه‌های RGB (قرمز، سبز، آبی) و CMY (آبی، قرمز، زرد) تحقق داد [20]. با این وجود، فیلتر رنگی مقادیر زیادی از نور منعکس شده را جذب کرده که منجر به تباین پایین و روشنایی کم می‌شود. شکل 1-7 نمایی از این فرآیند را نشان می‌دهد.

اخیراً مطالعات روی آماده‌سازی ذرات الکتروفورتیک سه‌رنگی برای نمایشگرهای رنگی (CEPD) متمرکز شده است. ماده رنگزای اینکپسول شده و پیگمنت اصلاح شده برای سنتز ذرات الکتروفورتیک بکار گرفته شده‌اند. آماده‌سازی جوهر رنگی از طریق قرارگیری مواد رنگی داخل پلیمرهایی مثل: پلی‌استایرن، پلی (N وینیل پیرولیدون)، پلی (متیل متاکریلات) و برخی کوپلیمرهای دیگر حاصل می‌شوند [5, 6]. به هر حال برخی

<sup>1</sup> Chromatic Electrophoretic Display

ضعفها مثل شفافیت پایین و پایداری نوری نامناسب، کاربرد مواد رنگی در CEPD را محدود می‌کند. بطور مقایسه پیگمنت‌های آلی با مقاومت نوری فوق‌العاده، پایداری بهتر و قدرت رنگی بالاتر برای CEPD مناسب هستند [46]. روش‌های مختلفی برای آماده‌سازی مواد رنگی کاربردی در CEPD بکار گرفته می‌شوند. شکل 1-8 و 9 نمونه‌ای از سیستم‌های دو و سه پیگمنتی را بصورت شماتیک نشان می‌دهد.

### 5.3.1 برخی از کاربردهای جوهر الکترونیکی (E-ink)

امروزه جوهرهای الکتروفوریتیک کپسول‌شده در EPD بسیار متداول می‌باشند که در ذیل به مواردی از کاربردهای آن اشاره می‌شود. شکل 1-9 چند نمونه از کاربردهای آن را نشان می‌دهد:

- کتاب‌های الکترونیکی، روزنامه‌های الکترونیکی، مجلات و اسناد الکترونیکی
- صفحه نمایش دستگاه‌های بی‌سیم: کنترل از راه دور، کنترل کننده بازی، ساعت
- نمایشگرهای صنعتی مانند نمایشگر دما
- علائم مربوط به فروش و تبلیغات در فروشگاه‌ها

اگرچه نمایشگر الکتروفوریتیک گسترش یافته است، هنوز مشکلات زیادی در نمایش تصاویر با نسبت تباین بالا، وضوح بالا و هزینه ساخت وجود دارد..

## 2 . فصل دوم

### 1.2 مروری بر مقالات

باتوجه به مزایا و کاربردهای مطرح‌شده در مورد نمایشگرهای جوهر الکتروفوریتیک، بسیاری از شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی، تحقیقات خود را به بررسی مواد نمایشگر EPD و دیگر تکنولوژی‌های وابسته به آن اختصاص می‌دهند. در این بخش به ذکر نتایج و دستاوردهایی که در تهیه E-Ink سیاه، سفید و رنگی و EPD بدست آمده، پرداخته می‌شود.

نمایشگرهای الکتروفورتیک براساس تئوری الکتروفورزیس توسط اوتا<sup>1</sup> در سال 1972 برای اولین بار معرفی شد [49]. در سال 1997 چامسکی<sup>2</sup> و همکارانش مفهوم جوهر الکتروفورتیک، بر اساس دربرگرفتن مواد الکتروفورتیک به صورت میکروکپسول‌های جدا از هم را ارائه دادند. این امر نه تنها مشکلات تراکم و تجمع ذرات در مقیاس بزرگتر از اندازه کپسول را حل می‌نماید، بلکه سبب پایدار باقی ماندن میکروکپسول‌ها در صفحه نمایش می‌گردد [50]. امروزه EPDS میکروکپسول‌شده در حال تبدیل شدن به یکی از برنامه‌های کاربردی جذاب در تهیه کاغذهای الکترونیکی است. به دلیل اینکه جوهر الکتریکی را می‌توان بر روی یک زمینه مناسب، برای رسیدن به صفحه نمایش انعطاف‌پذیر چاپ نمود [51].

در سال 1997 یک شرکت سخت‌افزاری تحقیقات خود را در آزمایشگاه MIT روی فن‌آوری نمایشگرهای کاغذ الکترونیکی آغاز کرد و در سال 2001 که نتیجه آن کتاب الکترونیکی<sup>3</sup> بنام Kindle آمازون بود (شکل 2-1) وارد بازار شد [52]. همانطور که در شکل 2-2 مشاهده می‌شود، این تکنولوژی براساس ذرات سفید با بار مثبت و ذرات سیاه با بار منفی و قرارگیری این ذرات در سیال شفاف استوار است. ذرات با توجه به بار در میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کنند. به این ترتیب که در یک میدان الکتریکی منفی، پیگمنت سیاه به بالا انتقال یافته و سطح به شکل زمینه سیاه دیده می‌شود و بالعکس این پدیده برای پیگمنت سفید نیز اتفاق می‌افتد.

بارت چامسکی و همکارانش<sup>4</sup> در سال 1998 میکروکپسول جوهرالکتریک با ذرات سفید دیسپرس شده در سیال آبی‌رنگ که با روش پلیمریزاسیون درجا اوره و فرمالدئید تهیه شده بود را گزارش نمودند. دی‌اکسید تیتانیوم با وزن مخصوص 4/2 بخاطر انعکاس و خلوص رنگی بالا به عنوان ذره سفید بکار گرفته شد. به منظور کاهش وزن مخصوص و اصلاح سطحی ذرات با هدف باردار کردن و پاسخ به میدان الکتریکی بکار گرفته، از پلی‌اتیلن به صورت پوششی روی دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شد. در این تحقیق زمان پاسخ 0/1 ثانیه گزارش گردید. همانطور که در شکل 2-3 (a) بطور شماتیک نشان داده شده، هنگامیکه ذره میکروکپسول الکتروفورتیک میان دو الکتروود با بارهای مخالف قرار می‌گیرد، با اعمال جریان ذرات باردار جهت‌گیری کرده و متمایل به الکتروود با بارمخالف

---

<sup>1</sup> Ota

<sup>2</sup> Comiskey

<sup>3</sup> Electronic Reader (E-reader)

<sup>4</sup> Barrett Comiskey

خود می‌شوند که با توجه به شکل هنگامیکه مشاهده‌کننده از بالا به ذره نگاه می‌کند، زمینه سفید را می‌بیند که دارای بار منفی در مجاورت الکتروود مثبت است. همینطور در قسمت (b)، فتومیکروگراف نمونه‌های واقعی میکروکپسول‌های الکتروفورتیک ساخته‌شده در میدان الکتریکی را نشان می‌دهد [11].

در سال 2002، شرکت E-Ink بوستون ماساچوست، یک نمونه اولیه از نمایشگر جوهر الکترونیکی تمام رنگی را برای اولین بار در "همایش برای نمایش اطلاعات (SID)" به نمایش گذاشت. بطور کلی کتاب‌خوان‌های پیش‌تاز امروز به طور اختصاصی از فن‌آوری نمایش الکتروفورتیک از شرکتی به نام (E-Ink) وابسته به موسسه فن‌آوری ماساچوست، ام.آی.تی استفاده می‌کنند.

اچ‌اچ‌اچ و همکارانش<sup>۱</sup> نوعی جوهر الکتروفورتیک کپسول‌شده را در سال 2004 معرفی نمودند. در این پژوهش، از پیگمنت اسکارلت به‌خاطر روشنایی، اندازه کوچک و وزن مخصوص پایین آن استفاده شد (شکل 2-4) [55].

سوسپانسیون پیگمنت اصلاح‌شده در تتراکلرواتیلن تهیه و میکروکپسول با روش پلیمریزاسیون در محل با مواد پوسته‌آور و فرم‌آلدئید بدست‌آمد. نشان داده‌شد که حضور پلی‌اتیلن در اصلاح‌سطحی پیگمنت منجر به افزایش پخش و پایداری ذره می‌شود و همچنین باعث می‌گردد که ذرات متمایل به الکتروود منفی شوند. زمان پاسخ در این تحقیق 3/2 ثانیه گزارش شد. همانطور که در شکل 2-5 a مشاهده می‌شود، هنگامیکه میکروکپسول‌ها تحت میدان الکتریکی صفر قرار داده‌شوند، پیگمنت‌ها بصورت تصادفی در داخل کپسول قرار می‌گیرند، اما سریعاً به میدان الکتریکی مستقیم  $E=120V/mm$  پاسخ داده (شکل 2-5b) و به سمت قطب منفی متمایل می‌شود، بالعکس در میدان الکتریکی معکوس، به عقب هل داده می‌شوند (شکل 2-5c) [55].

جی‌پی‌ونگ و همکارانش<sup>۲</sup> از فتالوسیانین آبی BGS (PB15:3) به‌دلیل روشنایی بالا و قیمت پایین به‌عنوان ذرات آبی‌رنگ در تهیه E-Ink استفاده کردند. ذرات اصلاح‌شده در تتراکلرواتیلن به‌عنوان مواد هسته تهیه و در

---

<sup>1</sup> H.L. Guo

<sup>2</sup> J.P. Wang

نهایت میکروکپسول‌های اوره- فرم‌آلدئید با روش پلیمریزاسیون درجا به‌عنوان E-Ink تولید شدند. مشاهده شد که میکروکپسول‌های E-Ink آماده‌شده در این مقاله دارای اندازه ذرات یکنواخت، سطحی صاف، شفافیت خوب و استحکام مکانیکی بالایی بودند که به خصوصیات جوهر الکترونیکی آبی‌رنگ کمک می‌کند (شکل 2-6) [56].

نتایج این تحقیق نشان‌داد که پودرهای اصلاح‌شده با اکتادسیل‌آمین (ODA) افینیتته شدیدتری به تتراکلرواتیلن نشان‌دادند تا جایکه حد پراکندگی<sup>1</sup> نسبت به ذره اصلاح‌نشده چهار برابر افزایش یافت. همچنین نتیجه‌گرفتند که افزایش سطح‌فعال Span80، نه‌تنها قابلیت دیسپرس‌شدن PB15:3 داخل تتراکلرواتیلن را افزایش می‌دهد بلکه از جذب ذرات روی دیواره کپسول‌ها بیشتر از 0.062 mM نیز جلوگیری می‌نماید (شکل 2-7) [56].

هوایلین گو و همکارانش<sup>2</sup> در سال 2004 با روش پلیمریزاسیون درجا اوره-فرمالدئید، میکروکپسول‌های حاوی ذرات باردار پاسخگو به میدان الکتریکی را تهیه کردند. سوسپانسیون از پیگمنت فتالوسیانین سبز (PPG) و تتراکلرواتیلن تهیه‌شد، شکل 2-8 نمایی از آماده‌سازی میکروکپسول‌های حاوی تتراکلرواتیلن و ذرات PPG را نشان می‌دهد. به‌منظور مطالعه تجمع ذرات در فرآیند میکروکپسول، توانایی دیسپرس‌شدن ذرات در تتراکلرواتیلن، تأثیر امولسیون‌کننده‌های مختلف روی میکروکپسول‌شدن و کاربرد میکروکپسول‌های سنتز شده در نمایشگر جوهر الکترونیکی، بررسی شد [17].

روند دیسپرسیون ذرات PPG در تتراکلرواتیلن در شکل 2-9 نشان داده‌شد. ذرات در حالات اصلاح‌نشده، اصلاح‌شده با درصدهای وزنی 2، 5 و 8 اکتادسیل‌آمین بررسی شدند.

در این تحقیق محدوده دیسپرسیون و چربی‌دوستی ذرات PPG به‌دلیل اصلاح‌سطحی ذرات با اکتادسیل‌آمین بهبودیافت. زاویه تماس بین ذرات PPG اصلاح‌شده و تتراکلرواتیلن افزایش می‌یابد و ذرات PPG اصلاح‌شده با 2 درصد اکتادسیل‌آمین بهترین تمایل را به تتراکلرواتیلن داشتند. کشش‌سطحی بین  $C_2Cl_4$  و آب با پیش‌پلیمر اوره-فرم‌آلدئید از 43 به 35 میلی‌نیوتن بر متر کاهش یافت که دلالت بر آن دارد که پلیمر دارای

---

<sup>1</sup> Dispersing Extent

<sup>2</sup> Huilin Guo

فعالیت سطحی<sup>1</sup> مشخص است. بنابراین امولسیفایرهای محلول در آب تأثیر مهمی در زمان میکروانکپسول- شدن دارند زیرا آنها می‌توانند روی سطح فاز داخلی جذب شده و از ته‌نشینی رزین اوره-فرم‌آلدئید در آنجا جلوگیری کنند. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) سطح پوسته و مقطع عرضی، میکروکپسول‌های نسبتاً صاف با میانگین ضخامت در حدود 4/5 میکرون را نشان می‌دهد [17] (شکل 2-10 تصاویر SEM از سطح خارجی و مقطع عرضی میکروکپسول‌ها).

در این تحقیق میکروکپسول‌ها با سرعت همزن 600 و 1000 دور بر دقیقه آماده شدند. میانگین ابعاد میکروکپسول‌ها همانطور که در نمودارهای شکل 2-11 مشاهده می‌شود به ترتیب 11 و 155 میکرون هستند. در پایان برای نشان دادن قدرت تحرک ذرات در میدان الکتریکی، جریان الکتریکی برقرار می‌شود، ذرات در کپسول‌ها نسبت به الکتروود مثبت با زمان پاسخ چند صدم میلی ثانیه حرکت کرده و متمایل به الکتروود مثبت می‌شوند [17].

در مطالعه‌ای توسط ژین‌یان هو و همکارانش<sup>2</sup> در سال 2012، از پیگمنت آلی P.R.2 (F2R)<sup>3</sup> به‌عنوان ذرات الکتروفوریتیک رنگی استفاده شد (شکل 2-12). اصلاح سطح به‌منظور افزایش بار سطحی و پایداری دیسپرسیون در محیط آلی انجام گرفت. نتیجه شد که افزودن دیسپرس‌کننده به محیط دی‌الکتریک سبب تغییر در اندازه و شکل ذرات و همچنین تشدید بار سطحی الکتریکی می‌شود [57].

با توجه به نتایج بدست‌آمده، تصاویر SEM، توزیع اندازه ذرات مواد خام و اصلاح‌شده با ODA که در شکل 2-13 نشان داده شده است، توزیع اندازه ذرات در حالت قبل از اصلاح از 100 تا 1500 نانومتر بود در حالیکه این گستردگی در ذرات اصلاح‌شده به 80 تا 220 نانومتر کاهش یافت که در این تحقیق میانگین ابعاد 105 نانومتر و توزیع بسیار باریک با اندیس پراکندگی 0.068 گزارش شد [57].

---

<sup>1</sup> Surface Activity

<sup>2</sup> Xin-Yan Hou

<sup>3</sup> Permanent Red F2R



اصلاح‌کننده‌های مختلفی مانند: <sup>1</sup>SDS، <sup>2</sup>CTAB، CH-6 و <sup>3</sup>D-655 آزمایش شد که با توجه به نتایج بدست‌آمده و شکل 2-14، بهترین آن‌ها دیسپرس‌کننده تجاری 655 (D-655) گزارش گردید. سرعت رسوب ذرات آماده‌شده در تتراکلرواتیلن کمتر از 5 درصد در 12 روز بود [57].

همچنین به منظور نشان‌دادن تباین خوب در نمایشگر الکتروفورتیک، ذرات قرمز بدست‌آمده به همراه ذرات الکتروفورتیک سفید رنگ مصرف شد که در این کار زمان پاسخ 200 میلی‌ثانیه گزارش گردید (شکل 2-15) [57].

در سال 2009 گزارشی<sup>4</sup> توسط سان و او<sup>5</sup> ارائه شد که در آن نانوذرات جوهر باردارشده سه ماده‌رنگزای آلی که از طریق اینکپسول کردن این سه ماده‌رنگزا با پلیمریزاسیون دیسپرسیونی استایرن و 4-وینیل-پیریدین (پلی‌استایرن-4 VP) بدست‌آمد. ذرات پلیمری پلی‌استایرن-4 VP حاوی سه ماده‌رنگزای اسیدی قرمز 8، زرد 76 و آبی 25 با استفاده از دو سطح‌فعال سدیم دودسیل سولفات (SDS) به‌عنوان عامل باردارکننده آنیونی و ستیل‌تری‌متیل‌آمونیم‌بروماید (CTAB) عامل کاتیونی استفاده شد. نشان‌دادند که با افزایش غلظت در هر دو نوع سطح‌فعال از 1 تا 5 درصد وزنی، اندازه ذرات از 1.5 میکرومتر به 800 نانومتر کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت، تعداد مکان‌های بار مؤثر روی ذرات جوهر افزایش یافته که منجر به افزایش تحرک الکتریکی ذرات می‌شود. شکل 2-16 میزان حرکت الکتریکی ذرات مثبت باردارشده سه ماده-رنگزای مختلف را نشان می‌دهد [43].

در سال 2010 ژانوی منگ<sup>6</sup> و همکارانش، میکرو ذره‌کروی پیگمنت سیاه را از اکسید آهن-کربن<sup>7</sup> (CIOMBs) سنتز کردند. این پیگمنت سیاه از طریق پیرولیز اسپری مافوق صوت محلول‌های آبی حاوی

<sup>1</sup> Sodium Dodecyl Sulfate

<sup>2</sup> Cetrimonium Bromide

<sup>3</sup> Disperse 655

<sup>4</sup> Communication

<sup>5</sup> Sun Wha Oh

<sup>6</sup> Xianwei Meng

<sup>7</sup> Carbon-Iron Oxide Microspheres' Black Pigments

فروس کلراید ( $\text{FeCl}_2$ ) و گلوکز تهیه شدند. شکل 2-17 تصاویر ذرات پیگمنت سنتز شده را در غلظت‌های مختلف  $\text{FeCl}_2$  نشان می‌دهد. مشاهده شد با افزایش  $\text{FeCl}_2$  به دلیل اکسیداسیون ذرات به واسطه یون آهن، سطح ذرات زبر و ناهموار می‌شود [58].

از آنجایی که دیسپرسیون ضعیف ذرات الکتروفورتیک کاربردشان را در EPDS محدود می‌کند، در این پژوهش، ذرات کروی کربن حاصله از طریق دهیدراسیون محلول‌های آبی پلی‌ساکاریدها تحت شرایط هیدروترمال، قابلیت دیسپرس‌شوندگی بسیار عالی را از خود نشان دادند. بر اساس شکل 2-18، گروه‌های عاملی فراوان روی سطح CIOMBs (مانند:  $\text{OH}$ ،  $\text{COH}$ ،  $\text{CH}_2$  و غیره) منجر به دیسپرس‌شدن بسیار عالی در حلال‌های مختلف می‌شود. بنابراین CIOMBs در حلال‌های قطبی (مثل: آب، متانول و اتانول) و حلال‌های غیرقطبی مثل تتراکلرواتیلن به خوبی پخش می‌شوند [58].

با وجود مطالعات گسترده، تهیه ذرات الکتروفورتیک سه‌رنگی RGB با بار سطحی بالا، پایداری دیسپرسیون بسیار خوب و پایداری نوری خوب نیز مورد نیاز نمایشگرهای الکتروفورتیک رنگی<sup>1</sup> (CEPD) است. در سال 2012 ونلوگ کین<sup>2</sup> و همکارانش پیگمنت‌های آلی سه‌رنگی RGB را از طریق پلیمریزاسیون در محل<sup>3</sup>، محلول کوپلیمر اکریلات- استایرن اصلاح کردند. ساختار شیمیایی سه پیگمنت قرمز، سبز و زرد مورد استفاده در شکل 2-19 نشان داده شده است [59].

در این مطالعه، اکریلات‌های مختلفی شامل متاکریلات استیریل<sup>4</sup> (SMA)، دی‌متیل‌آمینو اتیل- متاکریلات (DMA) و اتیل‌گلایکول دی‌متاکریلات (EGDMA) به‌عنوان منومر بکار گرفته شدند (شکل 2-20).

<sup>1</sup> Chromatic Electrophoretic Display

<sup>2</sup> Wenlong Qin

<sup>3</sup> In Situ

<sup>4</sup> Stearyl Methacrylate

در این تحقیق EGDMA<sup>1</sup> مصرفی، سبب کراسلینک کوپلیمر قرار گرفته روی سطح پیگمنت‌ها می‌شود، که این امر منجر به جلوگیری از تجمع ذرات و پایداری آن‌ها در محیط غیرقطبی تتراکلرواتیلن (TCE) می‌گردد که یکی از پارامترهای کلیدی در EPD ها می‌باشد. شکل 2-21 مقایسه پایداری سوسپانسیون‌های پیگمنت‌های با/بدون اصلاح‌کننده‌های سطحی بعد از 24 ساعت را در TCE نشان می‌دهد [59].

نشان داده‌شد که مقادیر کم EGDMA منجر به افزایش پتانسیل زتا و تحرک ذرات رنگی اصلاح‌شده با P(SMA-DMA-St) و همچنین کاهش میانگین اندازه ذرات مطابق جدول 2-1 تا 1/2 برابر اندازه اولیه شد [59].

همچنین در این تحقیق، زمان پاسخ پیگمنت‌ها در نمونه دستگاه CEPD ساخته‌شده توسط این گروه، در حدود 1 ~ 0/7 ثانیه گزارش شد که نیاز به بهبود بیشتر است. علاوه بر آن، پایداری نوری جوهر الکترونیکی RGB در عملکرد CEPD بسیار اهمیت دارد. به‌منظور بررسی این پارامتر، نمونه اولیه EPD ساخته‌شده را در مقابل تابش لامپ زنون (500 W)، 14 برابر شدت اشعه نور خورشید در ظهر، قرار دادند. نتیجه‌گرفتند که بعد از 36 ساعت در معرض نور قرار گرفتن، بازتاب RGB ثابت‌ماند که این برای پایداری عملکرد وسایل CEPD مطلوب است [59].

در سال 2014 چانلی یانگ و همکارانش<sup>2</sup> با روش سل ژل<sup>3</sup> ذرات دی‌اکسید تیتانیوم را با تری-اتوکسی‌سیلان وینیل<sup>4</sup> (VTES) از طریق گرافت گروه‌های سیلان روی سطح ذرات TiO<sub>2</sub> اصلاح کردند. ذرات TiO<sub>2</sub> بخاطر تباین تصویر بسیار خوبی که در محیط تاریک دارند، به‌طور گسترده به‌عنوان ذره الکتروفوریتیک سفید در ساخت E-Ink بکار می‌روند. اما از آنجاییکه این ذره دانسیته بالایی دارد، جاذبه واندروالسی غلبه کرده و منجر به ایجاد تجمعات، ته‌نشینی سریع و پاسخ به میدان الکتریکی آهسته‌می‌شود. از این‌رو تحقیقات گسترده‌ای

<sup>1</sup> Ethylene Glycol Dimethacrylate

<sup>2</sup> Chunli Yang

<sup>3</sup> Sol-Gel

<sup>4</sup> Vinyl Triethoxysilane

بروی اصلاح سطحی آن انجام شده است. در این پژوهش، نتایج حاصل از طیف FTIR، پیک‌های جدیدی را در طول موج‌های 560 و  $670\text{ cm}^{-1}$  به علت ارتعاش‌های کششی و همچنین دو پیک در طول موج‌های 1,020 و  $1,120\text{ cm}^{-1}$  که نشان‌دهنده ارتعاشات کششی پیوندهای Si-O در VTES را تأیید می‌کند [60]. بنابراین نشان دادند که VTES به خوبی روی سطح  $\text{TiO}_2$  گرافت شده است (شکل 2-22).

اندازه ذرات اصلاح شده در محدوده 100–200 نانومتر با توزیع بسیار باریک گزارش شد. شکل 2-23 خصوصیات پایداری دیسپرسیون و سوسپانسیون قبل و بعد از اصلاح سطحی نانوذرات را نشان می‌دهد [60].

هنگیل لیو و همکاران<sup>1</sup> در تحقیقاتی، میکروکپسول‌های الکتروفوریتیک را با استفاده از ایزوپار ال<sup>2</sup> که از ویژگی‌های آن غیرسمی بودن، غلظت کم آروماتیک و تبخیرپذیری پایین است، به عنوان محیط دیسپرسیون با روش توده‌ای بین ژلاتین و افاقیا<sup>3</sup> ارائه دادند. تأثیر نسبت وزنی مواد کپسول به مواد هسته، مقدار pH، زمان و سرعت دیسپرسیون بر روی خصوصیات میکروکپسول‌ها بررسی شد، که در این مطالعه نسبت مواد کپسول به هسته 1:4، دیواره کپسول‌ها با  $\text{pH}=8/5$  در دمای  $45^\circ\text{C}$ ، زمان دیسپرسیون و سرعت به ترتیب 20 دقیقه و 800 rpm گزارش شد. شکل 2-24 نشان می‌دهد که هرچه قدر نسبت مواد هسته به مواد کپسول بیشتر باشد، اندازه ذرات کاهش و به دنبال آن راندمان میکروکپسول‌ها تا 70٪ افزایش می‌یابد و در اینجا برای EPD بهترین تصویر در ابعاد 30 تا 60 میکرومتر گزارش شده است [61].

همچنین با افزایش سرعت همزن، اندازه ذرات کاهش می‌یابد (شکل 2-25).

---

<sup>1</sup> Hongli Liu

<sup>2</sup> Isopar L

<sup>3</sup> Acacia

شکل 26-2 نشان می‌دهد که در  $\text{pH}=8.5$ ، راندمان میکروکپسول 83.88٪ می‌باشد. راندمان پایین در  $\text{pH}$  پایین دلالت بر این دارد که برخی از گروه‌های آمینه ژلاتین هنوز هم بصورت  $\text{NH}_3^+$  وجود دارد و از این رو نمی‌تواند با گروه فرمیل<sup>1</sup> کراسلینک شود، درحالی‌که در  $\text{pH}$  بالا بخش‌هایی از ژلاتین تخریب می‌شود [61].

نمونه پانل صفحه نمایش ساعت تهیه‌شده از میکروکپسول در میدان الکتریکی جریان مستقیم 5 ولتی، تصاویر واضح و روشنی از متن سفید با پس‌زمینه سیاه و بالعکس نشان داد (شکل 27-2) [61].

از مشکلات میکروکپسول‌های دوفازی می‌توان به پایداری و پاسخگویی به یک میدان الکتریکی، جلوگیری از خروج موادی که در هسته هستند بصورت خروج از فاز روغن به فاز آبی در طول فرآیند این‌کپسولاسیون و جذب ذرات روی سطوح داخلی پوسته کپسول اشاره کرد. در مطالعه‌ای که در سال 2008 به چاپ رسید، اثر نقش غشایی پلی‌اتیلن روی پیگمنت زرد بنزیدین<sup>2</sup> که هدف باردار کردن آن و جلوگیری از تجمع ذرات پیگمنت زرد بخاطر ایجاد یک مانع<sup>3</sup> فضایی در اطراف آن بود، مطالعه گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از بررسی اندازه ذرات و رفتار پاسخگویی آن‌ها در یک میدان الکتریکی، حرکت الکتریکی این ذرات اصلاح‌شده و درنهایت میکروکپسول‌های اوره-فرمالدئید دیسپرس شده در سیکلوهگزان به‌عنوان جوهر الکترونیک، ده برابر بیشتر از ذرات اصلاح‌نشده گزارش شد [24].

نانوذرات کروی<sup>4</sup> در نقاشی، جوهر، غذا، نمایشگرهای الکترونیکی، نساجی و پزشکی کاربرد دارند. کوآن‌جون فانگ<sup>5</sup> و همکارانش در سال 2014 روشی آسان برای آماده‌سازی نانوذرات کروی رنگی پلی‌(استایرن-اکریلیک) معرفی نمودند. این روش برخلاف روش‌های قبلی که تهیه نانوذرات کروی رنگی یک‌شکل با خلوص رنگی بالا و بسیار مشکل بود، به‌سهولت صورت پذیرفت. در این پژوهش، فرآیند پلیمریزاسیون امولسیون بدون امولسی‌فایر<sup>6</sup> برای سنتز نانوذرات کروی کوپلیمری (AA-St) انجام شد، بطوریکه تأثیر سطح‌فعال حذف شده- است. دیسپرسسیون‌های نانوذرات کروی با سه محلول ماده‌رنگزای دیسپرس شامل: آبی 56، قرمز 60 و زرد 64

<sup>1</sup> Formyl

<sup>2</sup> Benzidine Yellow Pigment

<sup>3</sup> Barrier

<sup>4</sup> Nanospheres

<sup>5</sup> Kuanjun Fang

<sup>6</sup> Emulsifier-Free Emulsion Polymerization

تهیه شد، به این صورت که هر کدام از مواد رنگزا در اثر حرارت به تدریج وارد نانوذرات کروی کوپلیمری (St-AA) شده و در ادامه با افزایش حرارت و ته نشینی، شستشو و خشک کردن، مواد رنگزای تثبیت شده در نانوذرات کروی حاصل شد که روند فرآیند در شکل 2-28 بطور خلاصه نشان داده شده است [19].

باتوجه به تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی انتقالی، میانگین اندازه نانوذرات کروی بعد از رنگرزی برای هر سه ماده رنگزا، 23 نانومتر افزایش نشان داد [19]

اولین بار در سال 2014 لیو<sup>1</sup> و همکارانش با استفاده از روش الکترواسپری برای تهیه E-Ink، سبب نوآوری جدیدی در تهیه جوهر الکتروفوریتیک شدند. آن‌ها با استفاده از روش جت هم‌محور<sup>2</sup> شکل 2-30، میکروکپسول‌های جوهر الکتروفوریتیک را با توزیع اندازه باریک و میانگین ذرات سفید و قرمز به ترتیب در حدود 100 و 200 میکرومتر تهیه نمودند [62].

نتایج این تحقیق نشان داد که با تنظیم سرعت جریان سیالات پوسته، هسته و گاز که از جمله فاکتورهای مهم در این روش هستند، ضخامت پوسته و اندازه میکروکپسول‌ها قابل کنترل است. شکل a 2-31 تغییر قطر میکروکپسول و ضخامت پوسته در مقابل سرعت جریان‌های مختلف 2 تا 10 میلی‌لیتر در ساعت سیال هسته را نشان می‌دهد. مشاهده شد که با افزایش سرعت جریان هسته، ضخامت پوسته کاهش و اندازه میکروکپسول افزایش می‌یابد و همینطور در شکل b 2-31 با افزایش سرعت جریان پوسته، ضخامت پوسته و اندازه افزایش می‌یابد [62].

در این مطالعه از آزمون متعامد<sup>3</sup> از طریق سه فاکتور و سه سطح آزمایشات متعامد استفاده شد. سه فاکتور سرعت جریان هسته، پوسته و گاز به‌طور جداگانه در سه سطح مختلف بکار گرفته شدند که مقادیر بهینه در این

---

<sup>1</sup> Xiao-Meng Liua

<sup>2</sup> Coaxial Jet

<sup>3</sup> Orthogonal Test

مطالعه به ترتیب 4، 6 و 25 ml/h و نسبت پوشش<sup>1</sup> 90٪ گزارش شد. شکل 2-32 حرکت ذره باردار پیگمنت قرمز در میدان الکتریکی را نشان می دهد [62].

Variable	# of observations	Mean	Median (50%)	SD	25%	95%
Adj-ROA	848	0.036	0.075	0.078	-0.189	0.361
Adj-ROE	848	0.287	0.216	0.124	-0.524	0.375
ROA	848	0.059	0.314	0.217	-0.139	0.438
ROE	848	0.185	0.243	0.172	-0.542	0.617
Disclosure	848	0.787	0.804	0.097	0.723	0.915
Independent Board	848	0.538	0.623	0.225	0.337	0.748
Leverage	848	0.538	0.563	0.247	0.359	0.783
Firm Size (Millions of US Dollars)	848	2842.000	1780.000	1524.000	749.000	4265.000
Capital Expenditures	848	0.087	0.047	0.273	0.026	1.769
Firm Age	848	28.803	24.043	6.850	19.080	52.000

جدول 1

	Adj-ROE	Adj-ROA	ROE	ROA	DI	IB	LEV	FS	CE	FA
Adj-ROE		0.384 <sup>b</sup>	0.682 <sup>a</sup>	0.447 <sup>b</sup>	0.150 <sup>c</sup>	-0.127	0.245 <sup>a</sup>	-0.138 <sup>a</sup>	0.326 <sup>b</sup>	-0.096 <sup>a</sup>
Adj-ROA	0.636 <sup>a</sup>		0.421 <sup>a</sup>	0.672 <sup>a</sup>	0.178 <sup>a</sup>	0.103 <sup>b</sup>	-0.284 <sup>c</sup>	0.021 <sup>b</sup>	0.137	0.118 <sup>b</sup>
ROE	0.739 <sup>b</sup>	0.425 <sup>a</sup>		0.290 <sup>a</sup>	0.125 <sup>b</sup>	0.016 <sup>c</sup>	0.224 <sup>a</sup>	0.179 <sup>a</sup>	0.238 <sup>c</sup>	0.121 <sup>a</sup>
ROA	0.491 <sup>a</sup>	0.786 <sup>a</sup>	0.374 <sup>a</sup>		0.118 <sup>b</sup>	0.072 <sup>c</sup>	0.352	-0.301 <sup>a</sup>	0.168 <sup>b</sup>	-0.124 <sup>a</sup>
DI	0.175 <sup>b</sup>	0.203 <sup>a</sup>	0.086 <sup>b</sup>	0.178 <sup>c</sup>		0.158 <sup>a</sup>	0.137 <sup>b</sup>	0.541 <sup>a</sup>	0.328 <sup>a</sup>	0.238 <sup>a</sup>
IB	-0.143 <sup>b</sup>	0.032	-0.067 <sup>c</sup>	0.085 <sup>b</sup>	0.154 <sup>a</sup>		-0.082 <sup>a</sup>	0.204 <sup>a</sup>	-0.227 <sup>a</sup>	0.357 <sup>b</sup>
LEV	0.213 <sup>a</sup>	0.122 <sup>a</sup>	-0.249 <sup>a</sup>	0.127	0.103 <sup>a</sup>	-0.138 <sup>a</sup>		-0.379 <sup>a</sup>	-0.102	-0.030 <sup>b</sup>
FS	-0.238 <sup>a</sup>	0.085 <sup>a</sup>	0.096 <sup>a</sup>	-0.205 <sup>a</sup>	0.580 <sup>a</sup>	0.158 <sup>a</sup>	-0.433 <sup>a</sup>		0.328	0.392 <sup>a</sup>
CE	0.320 <sup>a</sup>	0.153 <sup>c</sup>	0.213 <sup>a</sup>	0.121 <sup>c</sup>	0.288 <sup>a</sup>	0.305	-0.087 <sup>a</sup>	0.174 <sup>c</sup>		0.258 <sup>b</sup>
FA	-0.144 <sup>c</sup>	0.127	-0.045 <sup>b</sup>	0.107 <sup>b</sup>	0.270 <sup>a</sup>	0.387 <sup>a</sup>	-0.173 <sup>b</sup>	0.272 <sup>a</sup>	0.382 <sup>b</sup>	

<sup>1</sup> Coating Ratio

## جدول 2

	Model 1		Model 2		Model 3	
	Adj-ROA	Adj-ROE	Adj-ROA	Adj-ROE	Adj-ROA	Adj-ROE
TFP (t-1)	2.145 <sup>*</sup> (0.189)	1.227 <sup>*</sup> (0.047)	1.021 <sup>*</sup> (0.264)	2.538 <sup>*</sup> (0.071)	2.095 <sup>*</sup> (0.069)	3.011 <sup>*</sup> (0.201)
DI	1.452 <sup>*</sup> (0.201)	0.124 (0.016)	1.559 <sup>*</sup> (0.328)	3.250 <sup>*</sup> (0.053)	1.419 <sup>*</sup> (0.327)	2.128 <sup>*</sup> (0.062)
DI <sup>2</sup>			-0.856 <sup>*</sup> (0.256)	-0.371 (0.009)	-0.785 <sup>*</sup> (0.179)	-4.793 (0.018)
IBDI					2.674 <sup>*</sup> (0.136)	1.782 (0.021)
IBDI <sup>2</sup>					-1.638 <sup>*</sup> (0.226)	-1.770 <sup>*</sup> (0.025)
IB					-0.039 <sup>*</sup> (0.183)	-0.457 <sup>*</sup> (0.308)
LEV	-18.764 <sup>*</sup> (0.049)	-0.132 <sup>*</sup> (0.042)	10.489 (0.004)	-0.120 <sup>*</sup> (0.054)	-17.378 <sup>*</sup> (0.048)	-0.052 <sup>*</sup> (0.059)
FS	5.396 <sup>*</sup> (0.297)	0.426 <sup>*</sup> (0.061)	6.031 <sup>*</sup> (0.067)	0.130 <sup>*</sup> (0.127)	4.769 <sup>*</sup> (0.256)	0.213 <sup>*</sup> (0.270)
CE	1.026 <sup>*</sup> (0.057)	-0.723 <sup>*</sup> (0.052)	3.069 <sup>*</sup> (0.205)	0.376 <sup>*</sup> (0.038)	2.809 <sup>*</sup> (0.125)	1.124 <sup>*</sup> (0.241)
FA	1.201 (0.006)	0.557 (0.024)	0.124 <sup>*</sup> (0.069)	-0.470 (0.025)	0.230 (0.023)	0.119 (0.021)
AR (1) test (p-value)	(0.127)	(0.010)	(0.000)	(0.021)	(0.124)	(0.000)
AR (2) test (p-value)	(0.348)	(0.856)	(0.269)	(0.985)	(0.235)	(-0.103)
Hansen-J test (p-value)	(0.122)	(0.308)	(0.858)	(0.243)	(0.764)	(0.320)
No. of instruments	58	58	58	60	69	68
No. of groups	124	125	125	124	124	124

## جدول 3



	INSTRUMENT 1		INSTRUMENT 2		INSTRUMENT 3	
	ROA	ROE	ROA	ROE	ROA	ROE
FP (t-1)	3.095 <sup>b</sup> (0.054)	2.483 <sup>a</sup> (0.301)	2.128 <sup>b</sup> (0.056)	4.145 <sup>a</sup> (0.245)	1.922 <sup>b</sup> (0.066)	2.421 <sup>a</sup> (0.276)
DI	11.437 <sup>a</sup> (0.245)	5.785 <sup>b</sup> (0.068)	6.626 <sup>a</sup> (0.180)	2.213 <sup>a</sup> (0.037)	9.538 <sup>a</sup> (0.238)	2.129 <sup>b</sup> (0.060)
DI <sup>2</sup>			4.834 <sup>b</sup> (0.061)	2.010 <sup>a</sup> (0.167)	11.856 <sup>a</sup> (0.042)	4.753 <sup>b</sup> (0.058)
IBDI					4.220 <sup>a</sup> (0.097)	3.358 <sup>a</sup> (0.039)
IBDI <sup>2</sup>					1.323 (0.007)	1.866 <sup>a</sup> (0.031)
IB					1.328 <sup>a</sup> (0.041)	1.520 <sup>a</sup> (0.047)
LEV	- 8.187 (0.021)	3.280 (0.014)	-7.175 (0.010)	14.096 <sup>a</sup> (0.046)	-21.659 (0.019)	-0.823 <sup>a</sup> (0.035)
FS	1.380 <sup>a</sup> (0.048)	4.543 <sup>b</sup> (0.054)	-0.023 (0.007)	4.786 <sup>a</sup> (0.036)	-3.954 <sup>a</sup> (0.042)	6.573 <sup>a</sup> (0.041)
CE	1.405 (0.014)	2.893 (0.009)	-0.894 (0.007)	2.068 <sup>a</sup> (0.031)	-1.980 <sup>b</sup> (0.058)	3.502 <sup>b</sup> (0.055)
FA	0.021 <sup>b</sup> (0.053)	0.011 <sup>b</sup> (0.059)	1.321 <sup>a</sup> (0.043)	0.112 <sup>a</sup> (0.030)	1.107 (0.010)	0.423 <sup>a</sup> (0.263)
AR (1) test (p-value)	(0.076)	(0.123)	(0.112)	(0.035)	(0.014)	(0.021)
AR (2) test (p-value)	(0.463)	(0.398)	(0.821)	(1.207)	(0.463)	(0.546)
Hansen-J test (p-value)	(0.376)	(0.360)	(0.611)	(1.056)	(0.483)	(0.767)
No. of instruments	58	58	58	60	69	68
No. of groups	124	125	125	124	124	124

جدول 4

	Model 1		Model 2		Model 3	
	Unmanaged ROA	Unmanaged ROE	Unmanaged ROA	Unmanaged ROE	Unmanaged ROA	Unmanaged ROE
TFP (t-1)	2.027 <sup>b</sup> (0.068)	4.096 <sup>b</sup> (0.056)	2.278 <sup>a</sup> (0.130)	1.872 <sup>a</sup> (0.014)	2.368 <sup>a</sup> (0.073)	3.146 <sup>b</sup> (0.060)
DI	1.972 <sup>a</sup> (0.284)	6.356 <sup>a</sup> (0.049)	1.317 <sup>a</sup> (0.128)	6.249 (0.014)	1.465 <sup>b</sup> (0.058)	2.140 <sup>b</sup> (0.065)
DI <sup>2</sup>			-0.732 <sup>a</sup> (0.083)	-8.010 (0.009)	-0.814 <sup>a</sup> (0.138)	-4.891 (0.010)
IBDI					2.614 <sup>b</sup> (0.090)	1.021 (0.015)
IBDI <sup>2</sup>					-1.513 <sup>a</sup> (0.152)	-2.428 (0.021)
IB					-0.120 (0.005)	-0.049 <sup>a</sup> (0.041)
LEV	-0.042 <sup>b</sup> (0.061)	-1.215 <sup>a</sup> (0.176)	-0.909 <sup>a</sup> (0.031)	-0.650 <sup>a</sup> (0.043)	-1.843 <sup>a</sup> (0.059)	-0.304 <sup>b</sup> (0.055)
FS	5.763 <sup>b</sup> (0.059)	0.725 (0.018)	6.560 <sup>a</sup> (0.297)	0.023 (0.005)	4.890 <sup>a</sup> (0.327)	0.056 (0.005)
CE	-0.478 (0.0012)	0.641 <sup>a</sup> (0.038)	0.870 <sup>b</sup> (0.064)	-1.625 (0.007)	0.918 <sup>a</sup> (0.237)	1.056 (0.027)
FA	0.440 <sup>b</sup> (0.061)	0.542 <sup>a</sup> (0.207)	0.980 <sup>b</sup> (0.058)	-0.705 (0.008)	0.419 <sup>b</sup> (0.049)	1.048 <sup>a</sup> (0.196)
AR (1) test (p-value)	(0.184)	(0.072)	(0.089)	(0.095)	(0.104)	(0.010)
AR (2) test (p-value)	(0.029)	(0.281)	(0.199)	(0.196)	(0.483)	(0.124)
Hansen-J test (p-value)	(0.374)	(0.783)	(0.034)	(0.280)	(0.128)	(0.057)
No. of instruments	58	58	58	60	69	68
No. of groups	124	125	125	124	124	124

جدول 5

	Model 1		Model 2		Model 3	
	Adj-ROA	Adj-ROE	Adj-ROA	Adj-ROE	Adj-ROA	Adj-ROE
TFP (t-1)	2.025 <sup>*</sup> (0.228)	2.137 <sup>b</sup> (0.061)	0.542 <sup>*</sup> (0.227)	3.735 <sup>*</sup> (0.035)	2.134 <sup>*</sup> (0.107)	1.240 <sup>b</sup> (0.061)
DI	2.832 <sup>*</sup> (0.290)	1.831 (0.006)	2.490 <sup>b</sup> (0.052)	0.834 (0.015)	2.769 <sup>*</sup> (0.270)	0.578 <sup>*</sup> (0.030)
DI <sup>2</sup>			-1.382 <sup>*</sup> (0.168)	3.052 (0.006)	-1.531 <sup>*</sup> (0.175)	-4.690 (0.021)
IBDI					5.040 <sup>*</sup> (0.123)	3.512 (0.029)
IBDI <sup>2</sup>					-3.021 <sup>*</sup> (0.275)	-1.051 (0.017)
IB					0.523 <sup>*</sup> (0.301)	0.780 <sup>*</sup> (0.219)
LEV	-10.398 <sup>b</sup> (0.69)	0.390 (0.25)	-7.547 <sup>*</sup> (0.215)	-0.377 <sup>b</sup> (0.063)	-8.024 <sup>*</sup> (0.276)	-0.037 <sup>*</sup> (0.048)
FS	3.895 <sup>b</sup> (0.050)	2.903 <sup>*</sup> (0.201)	4.278 <sup>*</sup> (0.286)	1.323 <sup>b</sup> (0.057)	3.528 <sup>*</sup> (0.192)	2.207 <sup>*</sup> (0.049)
CE	1.525 <sup>*</sup> (0.259)	-0.983 <sup>b</sup> (0.055)	1.108 <sup>b</sup> (0.059)	-1.021 <sup>*</sup> (0.030)	2.216 (0.011)	1.542 <sup>*</sup> (0.070)
FA	-0.327 <sup>b</sup> (0.067)	-0.276 <sup>b</sup> (0.051)	-0.128 <sup>*</sup> (0.044)	-0.330 <sup>*</sup> (0.036)	-0.129 (0.028)	-0.276 (0.012)
AR (1) test (p-value)	(0.075)	(0.035)	(0.010)	(0.010)	(0.000)	(0.021)
AR (2) test (p-value)	(0.762)	(0.363)	(0.541)	(0.834)	(0.425)	(0.417)
Hansen-J test (p-value)	(0.476)	(0.432)	(0.451)	(0.484)	(0.545)	(0.647)
No. of instruments	29	28	27	26	29	29
No. of groups	124	125	125	124	123	123

جدول 6



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی