

ساخت خازن به ظرفیت پیکوفاراد با استفاده

Archive of SID

از پلی آنیلین رسانا

Picofarads Capacitance Based on Conducting Polyaniline Films

حسن عفل آرا*

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، صندوق پستی 51666/14176

دریافت: 1390/05/20 پذیرش: 1391/01/25

چکیده

پلی آنیلین به روش شیمیایی تهیه و در حلال N-متیل پیرولیدون حل شده و فیلمهایی به ضخامت 80 و 100 میکرومتر از آن تهیه شد. اردوپه شدن این فیلمها در محلولهای اسیدی (HCl) با دوغلطت متفاوت در زمانهای دوپه شدن مختلف فیلمهای پلی آنیلین رسانا بدست آمد. از این فیلمها، صفحات مربعی شکل به ابعاد یک سانتی متر تهیه شد و از فیلمهای دارای ضخامت و زمان دوپه شدن یکسان به عنوان صفحات رسانا واز کاغذ آغشته به پارافین به عنوان دی الکتریک خازن استفاده شد. در این کار پژوهشی مراحل مختلف ساخت خازن پلی آنیلین رسانا، نتایج اندازه گیریها و محاسبات ظرفیت خازن ساخته شده بر اساس انتشار صفحه مانند دوپه کننده و همچنین پایداری ظرفیت آن در حلال و محیط اتمسفر گزارش شده است. از نتایج معلوم می شود که ظرفیت با افزایش زمان دوپه شدن افزایش می یابد و در مورد فیلمهای پلی آنیلین رسانای با ضخامت کمتر زودتر به مقدار بیشه خود می رسد. مقدار بیشه ظرفیت در شرایط کار این پژوهش در حدود 42 پیکوفاراد اندازه گیری شد.

واژه های کلیدی: پلیمر رسانا، پلی آنیلین رسانا، خازن، دی الکتریک، الکتروستاتیک، الکتروسیسه ساکن

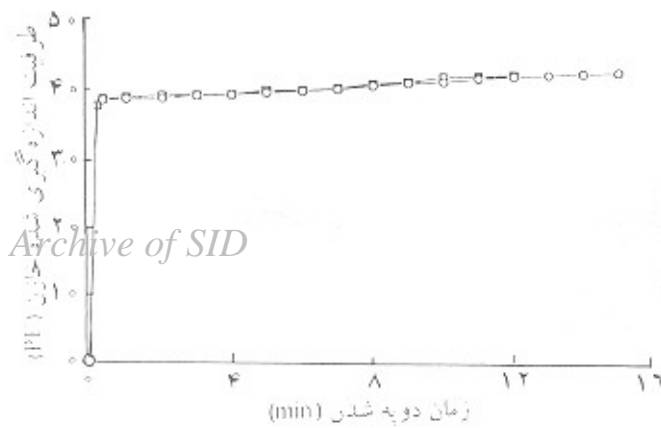
Key Words: conducting polymer, conducting polyaniline, capacitance, dielectric, electrostatic

مقدمه

فاصله بین صفحات و مساحت صفحات و ماده دی الکتریک بین صفحات رسانا، در شرایط مساوی هر چه دو صفحه رسانا به یکدیگر نزدیکتر انتخاب شوند نیروی جاذبه متقابل میان بارهای مخالف روی صفحات رسانا افزایش می یابد. در نتیجه الکترونیهای بیشتری از صفحه باردار مثبت به طرف صفحه باردار منفی کشیده می شوند. دی الکتریک میان دو صفحه رسانا محلی است که

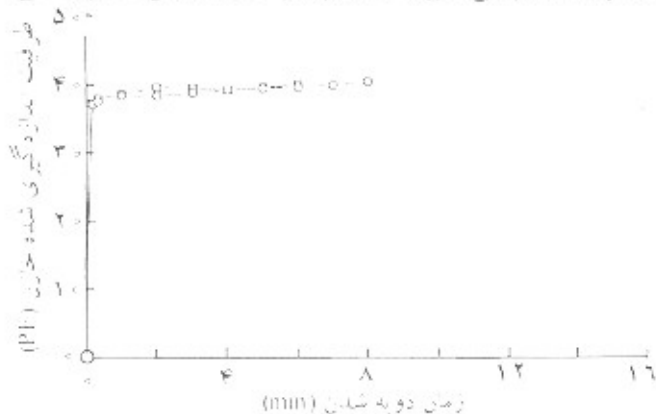
خازن عنصری غیر فعال است که از دو رسانا و یک دی الکتریک که در میان آن قرار گرفته تشکیل شده است. خازن کاغذی یا صفحات آلومینیومی را کارخانه های مختلف می سازند. سه عامل تعیین کننده مقدار ظرفیت خازن عبارتند از مساحت صفحات رسانا،

* مسئول مکاتبات، پانگرا: h-aghlaran@tabrizu.ac.ir

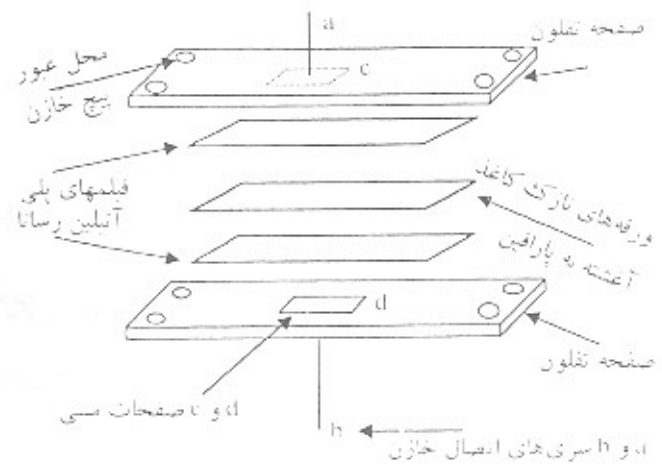


شکل ۳ نمودار تغییرات ظرفیت اندازه گیری شده خازن پلی آنتیلین در برابر زمان برای غلظت دویه کننده ۱/۲N و ضخامت فیلم پلی آنتیلین رسانا: $80 \mu\text{m}(\square)$ و $100 \mu\text{m}(\circ)$.

در این کار تجربی به جای صفحات رسانای آلومینیومی بکار رفته در خازنهای کاغذی، که در بیشتر موارد به صورت لایه بسیار نازکی به نام فیلم به روش رو نشستی روی دی الکتریک تشکیل می شود، از پلی آنتیلین رسانا، که خصوصیت فلزی دارد، استفاده شده است. این پلیمر آلی برای اولین بار در سال ۱۸۳۵ به نام آنتیلین سیاه شناخته شد. از آن زمان تا کشف مجدد آن توسط دیباز و لوگان کارهای پژوهشی زیادی در مورد سنتز و کاربردهای متنوع آن در زمینه های مختلف بویژه در ساخت عناصر فعال و غیرفعال الکترونیکی صورت گرفته است [۱]. چند سال بعد، مک دیبازمید و همکارانش [۲] نشان دادند که تغییر قابل ملاحظه رسانندگی پلی آنتیلین از طریق دویه شدن آن، که با پروتون دار کردن فیلم پلی آنتیلین به کمک برخی اکسیدها انجام می گیرد، امکان پذیر است. در این کار پژوهشی

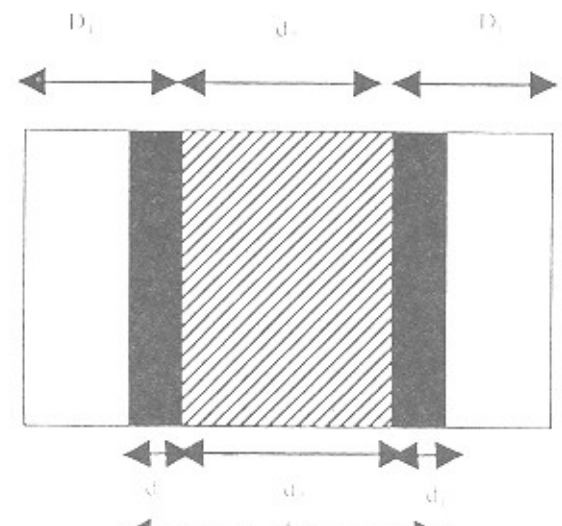


شکل ۴ نمودار تغییرات ظرفیت اندازه گیری شده خازن پلی آنتیلین در برابر زمان برای غلظت دویه کننده ۶N و ضخامت فیلم پلی آنتیلین رسانا: $80 \mu\text{m}(\square)$ و $100 \mu\text{m}(\circ)$.



شکل ۱ نمای کلی خازن مسطح پلی آنتیلین.

میدان در آن برقرار می شود، با برابری هر قدر نفوذپذیری الکتریکی دی الکتریک بیشتر باشد جابه جایی الکترونها در بک ولتاژ معین بیشتر شده و میدان الکتریکی راحت تر برقرار می شود، باید توجه کرد که دی الکتریکهای با نفوذ پذیری بیشتر همیشه دارای ولتاژ شکست بیشتر نیستند و ولتاژ شکست هر دی الکتریکی به ضخامت آن بستگی دارد. تست دی الکتریک (K) که بک نفوذ پذیری نسبی است کمیتی ثابت نیست بلکه با سامند، ولتاژ و رطوبت تغییر می کند. در این کار پژوهشی ظرفیت خازن پلی آنتیلین در زمانهای دویه شدن مختلف در حلال و هوای آزاد بررسی خواهد شد. از آنجا که آلومینیم دارای رسانندگی و توالی الکتریک بسیار زیادی است در خازنهای کاغذی از آن به عنوان صفحات رسانا استفاده می شود. عیب این خازنها این است که پس از کار نسبتاً طولانی ظرفیتشان کاهش می یابد.



شکل ۲ مقطع قائم خازن مسطح پلی آنتیلین

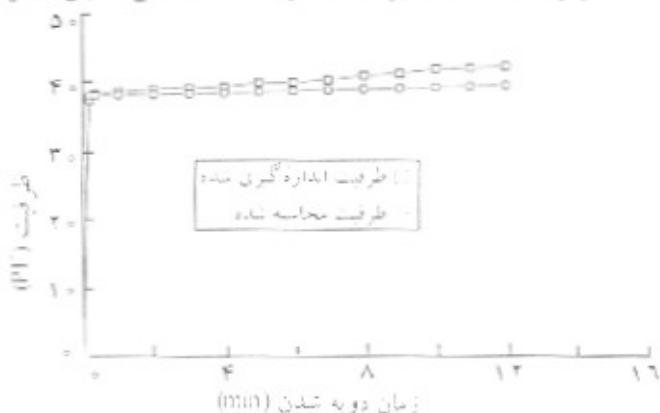
مواد	خواص	وزن مولکولی (g/mol)	دمای جوش (°C)	چگالی (g/cm ³)	خلوص (%)
N-متیل پیرولیدون		۹۹	۲۰۲	۱/۰۳	۹۹
آبیلین		۹۳	۱۸۴	۱/۰۲	۹۹
تراهیدروفوران		۷۲	۶۶	۰/۸۹	۹۹/۵
کلریدریک اسید		۳۶/۵	۸۵	۱/۱۹	۳۷
سولفوریک اسید		۹۸	۳۳۰	۱/۸۴	۹۸
آمونیم پرسولفات		۲۲۸	-	۰/۹	۹۸
آمونیم هیدروکسید		۳۵	-	۰/۹۱	۲۵

Archive of SID

می کنند، یعنی رسانندگی آن با افزایش دما کاهش می یابد. رسانندگی پلی آیلین به میزان پروتون دار شدن آن بستگی دارد. رسانندگی الکتریکی (σ) یک پلیمر به صورت $\sigma = J/E$ تعریف می شود که در آن J به ترتیب چگالی جریان و میدان الکتریکی اعمال شده است. برای اندازه گیری رسانندگی فیلم پلی آیلین می توان فنی را که وان در باوا ارائه کرده است بکار گرفت [۹]. در این روش چهار نقطه اتصال به فواصل مساوی در نزدیکی کنار خارجی نمونه با استفاده از یک چسب رسانا ایجاد می شود. بدین ترتیب می توان چهار سیم اتصال در محلهای اتصال به نمونه وصل کرد. جریان (I) به وسیله دو سیم اتصال مجاور، وقت و تناژ (t) به کمک دو سیم دیگر اندازه گیری می شوند. در این روش ضخامت فیلم (d) نیز دخالت دارد، بنا براین همواره اندازه گیریهای اولیه باید ضخامت را نیز اندازه گرفت. رسانندگی در این روش به

از بودر پلی آیلین، که به روش شیمیایی از اکسایش مستقیم آیلین به کمک یک اکسید کننده شیمیایی مناسب بدست می آید، استفاده شده است. پس از تهیه فیلم پلی آیلین زیودر حاصل و درجه کردن آن به وسیله HCl از فیلمهای بدست آمده به عنوان صفحات رسانای خازن مسطح وار کاغذ آغشته به پارافین به عنوان دی الکتریک استفاده شد. پلی آیلین در مقایسه با پلیمرهای دیگر دارای مزایایی است که عبارتند از سهولت تهیه آن به روشهای شیمیایی و مقاوم بودن در برابر اکسایش در مجاورت هوا.

رسانندگی پلی آیلین در معرض بخار آب بسیار سریع افزایش می یابد، حال آنکه در خلا، به کندی کاهش پیدا می کند [۳]. دما [۴]، میزان پروتون دار شدن [۵]، درجه اکسایش [۶]، میزان رطوبت [۷] و کاتیون مختلف [۸] نیز از عوامل مؤثر در تغییر رسانندگی پلی آیلین اند. پلی آیلین در مقابل تغییرات دما همانند فلزات رسانا عمل



شکل ۶- نمودار تغییرات ظرفیت محاسبه و اندازه گیری شده خازن پلی آیلین در برابر زمان برای غلظت دوپه کننده 1.2×10^{-2} و ضخامت $80 \mu m$ برای پلی آیلین نارسا.



شکل ۷- نمودار تغییرات ظرفیت محاسبه و اندازه گیری شده خازن پلی آیلین در برابر زمان برای غلظت دوپه کننده 1.2×10^{-2} و ضخامت $100 \mu m$ برای پلی آیلین نارسا.

جدول ۲- فاصله مؤثر میان دو رسانای خازن ساخته شده در زمانهای دوپه شدن مختلف برای دو غلظت متفاوت دوپه کننده.

ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا (۸۰ μm)		ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا (۱۰۰ μm)		زمان دوپه شدن (min)
HCl(۶ N)	HCl(۱/۲N)	HCl(۶ N)	HCl(۱/۲N)	
ضخامت کل باقیمانده (mm)		ضخامت کل باقیمانده (mm)		
۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۴۵	۰/۲۴۵	۰
۰/۲۰۰۷	۰/۲۰۲۸	۰/۲۴۰۷	۰/۲۴۲۸	۰/۱۶۶
۰/۱۹۶۴	۰/۲۰۰۶	۰/۲۳۶۴	۰/۲۴۰۶	۰/۳۳۳
۰/۱۷۹۲	۰/۱۹۱۹	۰/۲۱۹۲	۰/۲۳۱۹	۱
۰/۱۵۳۴	۰/۱۷۸۸	۰/۱۹۳۴	۰/۲۱۸۸	۲
۰/۱۳۷۶	۰/۱۶۵۷	۰/۱۶۷۶	۰/۲۰۵۷	۳
۰/۱۰۱۸	۰/۱۵۲۶	۰/۱۴۱۸	۰/۱۹۲۶	۴
۰/۰۷۶	۰/۱۳۹۶	۰/۱۱۶	۰/۱۷۹۶	۵
۰/۰۵۰۲	۰/۱۲۶۵	۰/۹۰۲	۰/۱۶۶۵	۶
۰/۰۴۵۰	-	-	-	۶/۲
-	۰/۱۱۳۴	۰/۰۶۴۴	۰/۱۵۳۴	۷
-	-	۰/۰۴۵	-	۷/۷۵
-	۰/۱۰۰۳۶	-	۰/۱۴۰۳	۸
-	۰/۰۸۷۲	-	۰/۱۳۷۲	۹
-	۰/۰۷۴۲	-	۰/۱۱۴۲	۱۰
-	۰/۰۶۱۱	-	۰/۱۰۱۱	۱۱
-	۰/۰۴۸۰	-	۰/۰۸۸۰	۱۲
-	۰/۰۴۵	-	-	۱۲/۲
-	-	-	۰/۰۷۴۹	۱۳
-	-	-	۰/۰۶۱۸	۱۴
-	-	-	۰/۰۴۸۸	۱۵
-	-	-	۰/۰۴۵۰	۱۵/۳۹

پلی آنیلین رسانا و اندازه گیری و محاسبه ظرفیت آن بررسی می شود. پارامترهای مؤثر تعیین کننده مشخصات شیمیایی و الکتریکی پلی آنیلین تهیه شده به روش شیمیایی بسیار متنوع اند. پارامترهای اساسی که اثر آنها روی رسانندگی الکتریکی، ساختار شیمیایی، پایداری گرمایی و حالت اسیدی پلیمر توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است عبارتند از محیط پلیمر شدن و دمای آن، نوع و غلظت اسید پروتون دار، عامل اکسید کننده.

صورت زیر محاسبه می شود:

$$\sigma = \frac{\ln 2 i}{\pi d v} \quad (۱)$$

نتایج بدست آمده برای فیلمهای به ضخامت ۸۰ و ۱۰۰ میکرومتر، دوپه شده در کلریدریک اسید ۶ N به ترتیب عبارتند از ۸ و ۵۵۲ C m⁻¹. در ادامه مراحل ساخت خازن کاغذی با استفاده از

جدول ۳- نتایج حاصل از اندازه گیری ظرفیت خازن پلی آنیلین ساخته شده در زمانهای دوپه شدن و غلظتهای متفاوت دوپه کننده.

HCl(۱/۲N)		HCl(۱ N)		زمان دوپه شدن (min)
ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا قبل از دوپه شدن		ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا قبل از دوپه شدن		
Archive of SID (۸۰ μm)	(۱۰۰ μm)	(۸۰ μm)	(۱۰۰ μm)	
C (pF)		C (pF)		
۳۷/۲۳۱	۳۷/۲۰۲	۳۷/۲۵۰	۳۷/۱۱۰	
۳۸/۲۳	۳۸/۰۶	۳۷/۹۹	۳۷/۵۵	۰/۳۳۳
۳۸/۵۶	۳۸/۲۹	۳۸/۶۸	۳۸/۴۵	۱
۳۸/۹۲	۳۸/۰	۳۹/۷۹	۳۸/۴۹	۲
۳۹/۰۵	۳۸/۹۵	۳۹/۶۹	۳۸/۹۸	۳
۳۹/۱۹	۳۹/۱۵	۳۹/۴۵	۳۹/۴۹	۴
۳۹/۸۷	۳۹/۴۷	۳۹/۹۱	۳۹/۷۱	۵
۳۹/۹۰	۳۹/۷۸	۴۰/۳۰	۳۹/۹۳	۶
-	-	۳۹/۳۳۲	-	۶/۲
۴۰/۲۲	۴۰/۰۶	-	۴۰/۳۱	۷
۴۰/۸۹	۴۰/۵۹	-	۴۰/۸۷	۸
۴۱/۱۵	۴۰/۹۶	-	-	۹
۴۱/۸۶	۴۱/۱۴	-	-	۱۰
۴۱/۹۷	۴۱/۶۲	-	-	۱۱
۴۲/۱۸	۴۱/۹۳	-	-	۱۲
۳۹/۳۳۴	-	-	-	۱۲/۲۳
-	۴۲/۱۰	-	-	۱۳
-	۴۲/۳۶	-	-	۱۴
-	۴۲/۵۹	-	-	۱۵

از دستگاه RCL متر (Resistance Capacitance Inductance) مدل PM۱۳۰ ساخت کشور انگلستان استفاده شد.

مدت زمان واکنش، عامل شستشو، دما و شرایط خشک کردن [۱۱،۱۰]

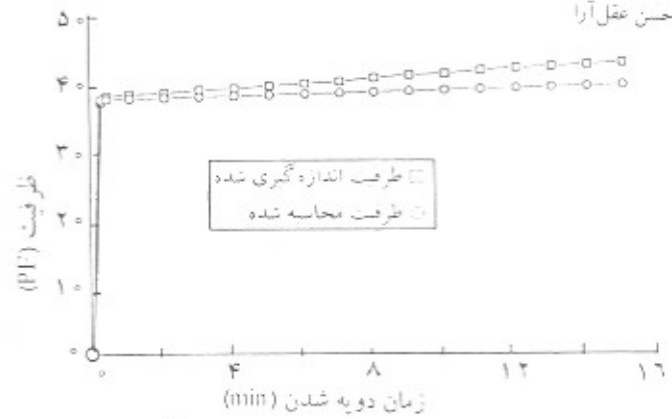
روشها

محلول آغازگر واکنش که نقش عامل اکسایش را نیز دارد با حل کردن نمک آمونیوم پرسولفات $(NH_4)_2S_2O_8$ در محلول آبی کلریدریک اسید تهیه شد و سپس قطره قطره روی محلول آنیلینی، که پس از چند مرحله تقطیر خالص سازی شده بود، اضافه

تجربی

مواد و دستگاهها

مشخصات مواد مصرف شده در این پژوهش که همگی از شرکت مرک است در جدول ۱ آمده است. برای اندازه گیری ظرفیت خازن



شکل ۷- نمودار تغییرات ظرفیت محاسبه و اندازه گیری شده خازن پلی آیلین در برابر زمان برای غلظت دویه کننده ۶N و ضخامت ۱۰۰ μm برای پلی آیلین نارسانا.

شد. برای آماده کردن محلولهای عامل اکسایش و مونومر از محلولهای کلریدریک اسید ۱N با دمای در حدود صفر درجه سانتیگراد استفاده شد. پس از تکمیل واکنش و صاف کردن مخلوط، پودر سیاه رنگ پلی آیلین روی کاغذ صافی جمع آوری و عمل تصفیه محصول ستر شده با شستشوی متناوب آن با محلولهای کلریدریک اسید ۱N و آمونیوم هیدروکسید ۱N. تابی رنگ شدن آب زیر صافی ادامه یافت. پودر حاصل برای بهبود خواص فیزیکی فیلمهای ساخته شده در تراپیدروفوران (THF) قرار داده شد [۱۲] و سپس عمل شستشوی متناوب در محیط اسیدی و بازی یاد شده تکرار شد. برای حذف کامل باقیمانده THF در پلیمر، پلیمر در آب مقطر شستشو داده شد. از پودر حاصل، پس از تبدیل آن به شکل سازی به دلیل انحلال پذیری بیشتر آن در حلال N-متیل پیرولیدون (NMP) و اجزای مراحل صاف کردن و قرار دادن آن در خلا، در یک کوره الکتریکی تنظیم شده در دمای ۶۰ C به مدت ۱۰ ساعت برای خشک کردن آن، برای تهیه فیلم پلی آیلین استفاده شد. برای این منظور ۱/۵ g از این پودر بتدریج در ۶۰ ml NMP حل شده و محلول حاصل روی یک قطعه شیشه مسطح و تمیز ریخته شد. سپس، این شیشه به مدت ۲ ساعت در یک کوره الکتریکی که دمای آن در ۱۰۰ C تنظیم شده بود قرار داده شد. در این مدت فیلم یکواختی روی شیشه شکل می گیرد که می توان با قراردادن آن در ظرف دارای آب مقطر، فیلم پلی آیلین را براحتی از آن جدا کرد. با شستشوی فیلم حاصل در حلال متانول می توان باقیمانده NMP را از فیلم حذف کرد. با استفاده از یک میکرومتر رقیق ضخامت فیلمها در حدود ۸۰ و ۱۰۰ میکرومتر اندازه گیری شد. برای ساختن خازن، فیلمهای رسانای پلی آیلین به شکل مربعهایی به ابعاد یک سانتی متر و کاغذ آغشته به پارافین سه لایه به صورت مربعهایی به ابعاد ۱/۵ سانتی متر بر برده شدند. این خازن بین

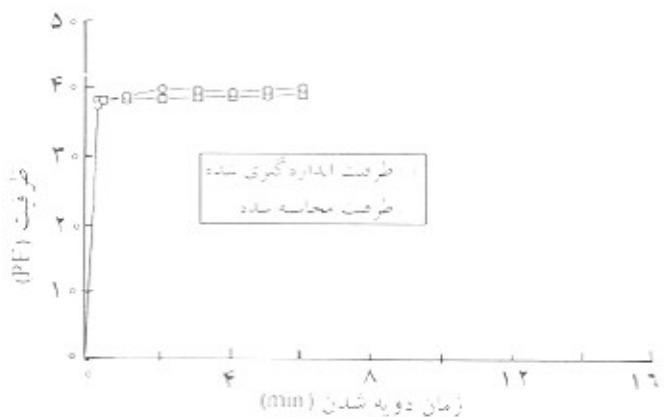
دو صفحه تفلون متصل به دو سیم پلاتین به عنوان پایانه های خازن قرار داده شده است (شکل ۱). در عمل، مجموعه صفحات تشکیل دهنده این خازن برای حصول اتصال اهمی خوب تحت فشار قرار می گیرند. مقطع قائم این خازن در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل d_2 ضخامت کاغذ آغشته به پارافین، D_1 و d_1 به ترتیب ضخامتهای فیلم پلی آیلین نارسانا قبل از و بعد از شستشو در لحظه ۱ است. با در نظر گرفتن اینکه انتشار دویه کننده در پلی آیلین صفحه مانند است [۱۲]، دویه کننده با افزایش زمان دویه شدن بیشتر در داخل فیلم پلی آیلین پیش می رود. ظرفیت این خازن، معادل ظرفیت سه خازن سری است که بخش دی الکتریک آنها به ترتیب پلی آیلین نارسانا، کاغذ آغشته به پارافین و پلی آیلین نارسانا است (شکل ۲). ضخامت دی الکتریک (d) این خازن مرکب در هر لحظه از معادله ۳ بدست می آید:

$$D = 2D_1 + d_2 \quad (2)$$

$$d = D - 2V_1 \quad (3)$$

با در آن $d = 2d_1 + d_2$ که در آن d ضخامت مؤثر دی الکتریک خازن مرکب در لحظه ۱ و V_1 میزان نفوذ کلریدریک اسید در فیلمهای پلی آیلین نارسانا است. ظرفیت خازن (C) مسطح مرکب به صورت زیر نوشته می شود:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d_1 + d_2 + d_3} \quad (4)$$



شکل ۸- نمودار تغییرات ظرفیت محاسبه و اندازه گیری شده خازن پلی آیلین در برابر زمان برای غلظت دویه کننده ۶N و ضخامت ۸۰ μm برای پلی آیلین نارسانا.

جدول ۴- ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا و ظرفیت محاسبه شده خازن در زمانهای دویه شدن و غلظتهای متفاوت دویه کننده.

HCl(۱/۲N)				HCl(۱ N)				زمان دویه شدن (min)
ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا قبل از دویه شدن				ضخامت فیلم پلی آنیلین نارسانا قبل از دویه شدن				
(۸۰-μm)	(۱۰۰-μm)	(۸۰-μm)	(۱۰۰-μm)	(۸۰-μm)	(۱۰۰-μm)	(۸۰-μm)	(۱۰۰-μm)	
C (pF)		ضخامت باقیمانده (d _۱)		ضخامت باقیمانده (d _۲)		C (pF)		
۳۷/۹۳۱	۳۷/۵۹۲	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۳۷/۹۴۸	۳۷/۶۰۹	۰/۱۶۶
۳۷/۹۴۸	۳۷/۶۰۹	۷۹	۹۹	۷۸	۹۸	۳۷/۹۸۲	۳۷/۶۴۲	۰/۳۳۳
۳۸/۰۳۴	۳۷/۶۹۳	۷۳	۹۳	۵۴	۸۷	۳۸/۱۳۷	۳۷/۷۹۵	۱
۳۸/۱۳۹	۳۷/۸۱۲	۶۶/۹	۸۶	۴۱	۷۴	۳۸/۳۶۴	۳۸/۰۱۷	۲
۳۸/۲۵۴	۳۷/۹۱۴	۶۰/۳	۸۰	۲۸	۶۱	۳۸/۵۹۳	۳۸/۲۴۱	۳
۳۸/۳۶۷	۳۸/۰۳۴	۵۳/۸	۷۳	۱۵	۴۸	۳۸/۸۲۴	۳۸/۴۶۹	۴
۳۸/۴۸۷	۳۸/۱۳۷	۴۷	۶۷	۲/۶	۳۵	۳۹/۰۵۹	۳۸/۸۶۹	۵
۳۸/۶۱۰	۳۸/۲۴۷	۴۰	۶۰/۷	۰/۰/۲	۲۲	۳۹/۲۹۶	۳۹/۳۳۲	۶
-	-	-	-	-	-	۳۹/۳۳۲	-	۶/۲
۳۸/۷۱۷	۳۸/۳۶۴	۳۴	۵۴	-	۹/۷	-	۳۹/۱۵۵	۷
۳۸/۸۴۲	۳۸/۴۸۷	۲۷	۴۷	-	۰/۶	-	۳۹/۳۳۲	۸
۳۸/۹۵۰	۳۸/۵۹۳	۲۱	۴۱	-	-	-	-	۹
۳۹/۰۷۷	۳۸/۷۱۷	۱۴	۳۴	-	-	-	-	۱۰
۳۹/۱۸۶	۳۸/۸۲۴	۸	۲۸	-	-	-	-	۱۱
۳۹/۳۱۵	۳۸/۹۵۰	۱/۵	۲۱	-	-	-	-	۱۲
۳۹/۳۳۴	-	۰/۰/۱	-	-	-	-	-	۱۲/۲۳
-	۳۹/۰۷۷	-	۱۴	-	-	-	-	۱۳
-	۳۹/۱۸۶	-	۸/۴	-	-	-	-	۱۴
-	۳۹/۲۹۸	-	۱/۹	-	-	-	-	۱۵
-	۳۹/۳۳۲	-	۰/۰/۶	-	-	-	-	۱۵/۲۸

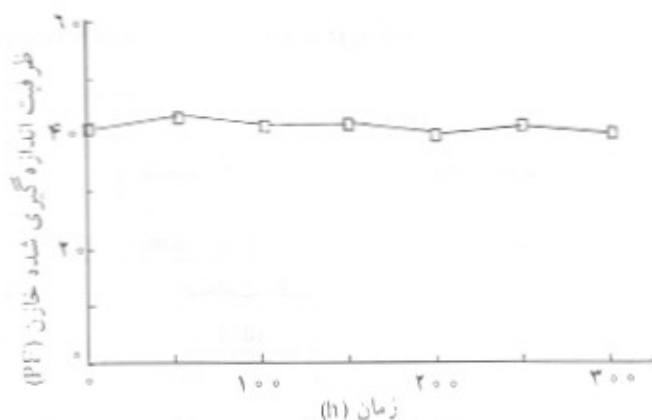
که در آن ϵ_1 و ϵ_2 به ترتیب گذردهای پلی آنیلین نارسانا و کاغذ آغشته به پارافین اند.

که در آن A مساحت صفحات رسانا و ϵ_2 گذردهای مؤثر دی الکتریک ناممکن است پس از مجموعه ای از عملیات ساده خواهیم داشت:

نتایج و بحث

$$C = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 A}{\frac{2d_1}{\epsilon_2} + \frac{d_2}{\epsilon_1}} \quad (5)$$

خازن مشکل از فیلمهای پلی آنیلین به عنوان صفحات رسانا به

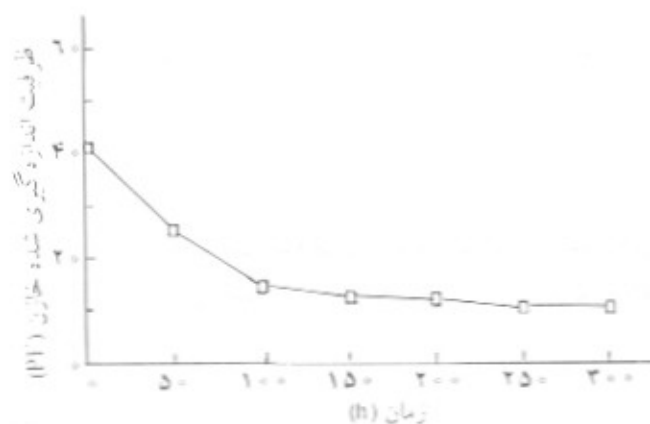


شکل ۹- نمودار تغییرات ظرفیت خازن پلی آیلین کاغذی در برابر زمان در حلاله برای غلظت دوپه کننده 6N.

ضخامت 80 میکرومتر، هر کدام به مساحت یک سانتی متر مربع، و سه لایه کاغذ آغشته به پارافین، هر لایه به ضخامت 15 میکرومتر، انتخاب شد. با در نظر گرفتن اینکه میزان نفوذ کلریدریک اسید 1/2N و 6N در فیلمهای پلی آیلین تحت شرایط تراوشی که با استفاده از یک آشکار ساز pH اندازه گیری شده است به ترتیب 6.05×10^{-3} و 12.9×10^{-3} mm/min است، فاصله دو صفحه رسانای این خازن با استفاده از معادله 3 در محلول دوپه کننده کلریدریک اسید 6N در زمانهای دوپه شدن مشخص محاسبه شد. نتایج در ستون دوم جدول 2 خلاصه شده است. پس از دوپه زدایی این فیلم، آزمایش در محلول دوپه کننده کلریدریک اسید 1/2N تکرار شد که نتایج آنها در ستون سوم جدول 2 نشان داده شده است. آزمایشهای مشابه در مورد فیلمهای با ضخامت 100 میکرومتر انجام شد (نتایج ستونهای 4 و 5 جدول 2). در لحظه 1 برابر صفر که هنوز فیلم پلی آیلین دوپه نشده است، این فاصله بیشترین مقدار خود را دارد که بتدریج با افزایش زمان دوپه شدن کاهش می یابد. همان طور که این جدول نشان می دهد، ظرفیت بخش دی الکتریک مرکب در هر دو خازن در مورد اسید با غلظت بیشتر با افزایش زمان دوپه شدن زودتر به مقدار کمینه خود می رسد. برای هر یک از مقادیر ضخامت های داده شده در جدول 2 که در زمانهای مختلف دوپه شدن با استفاده از معادله های 2 و 3 محاسبه شده است، ابتدا ظرفیت خازن با استفاده از دستگاه RCL متر اندازه گیری شد. نتایج این اندازه گیریها در جدول 3 نشان داده شده است. سپس با استفاده از معادله 5 و مقادیر جدول 2، ظرفیت خازن محاسبه شد. جدول 4 نتایج این محاسبات را نشان می دهد.

نتایج تغییرات ظرفیت اندازه گیری شده خازن برای دو غلظت متفاوت دوپه کننده بکار برده شده بر حسب زمان دوپه شدن

در شکل های 3 و 4 رسم شده است. این منحنیها نشان می دهند که ظرفیت با افزایش زمان دوپه شدن افزایش می یابد. شکل 3 ظرفیت دو خازن با صفحات رسانای به ضخامت های 80 و 100 میکرومتر را برای غلظت دوپه کننده 1/2N، و شکل 4 همان نتایج را برای دوپه کننده به غلظت 6N نشان می دهد. در هر دو شکل ملاحظه می شود که ظرفیت برای بخش دی الکتریک *Archive of SID* می رسد و این مقدار بیشینه در مورد دوپه کننده با غلظت بیشتر زودتر قابل حصول است. در شکل 3 منحنی مربوط به ضخامت 100 μm فیلم پلی آیلین در حدود 12 دقیقه و در شکل 4 که اسید دوپه کننده غلظت بیشتری دارد همان منحنی در 6 دقیقه به مقدار بیشینه می رسد. ظرفیت این خازن با دی الکتریک مرکب علاوه بر بعد هندسی و نفوذپذیری دی الکتریک، که بستگی ظرفیت خازن با رساناهای فلزی به آنها به اثبات رسیده است، به زمان دوپه شدن و غلظت دوپه کننده نیز بستگی دارد. این ارتباط در معادله 5 نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از معادله 5 برای ظرفیت خازن پلی آیلین در زمانهای دوپه شدن متفاوت و برای اسیدهای دوپه کننده با غلظتهای مختلف در جدول 3 درج شده است. شکل 5 و 6 منحنیهای تغییرات ظرفیت خازن پلی آیلین اندازه گیری شده و محاسبه شده را در زمانهای دوپه شدن مختلف برای اسید دوپه کننده با غلظت 1/2N برای دو ضخامت مختلف فیلم پلی آیلین نارسا و شکل 7 و 8 همان منحنیها را برای غلظت 6N نشان می دهد. همان طور که این منحنیها نشان می دهند، ظرفیت با افزایش زمان دوپه شدن افزایش می یابد و ظرفیت در مورد فیلم پلی آیلین با ضخامت کمتر زودتر به مقدار بیشینه خود می رسد. منحنیها نشان می دهند که زمان لازم برای رسیدن به ظرفیت بیشینه متناسب با غلظت اسید دوپه کننده است و چون حداقل ضخامت دی الکتریک خازن همان ضخامت ثابت کاغذ آغشته به پارافین (d₂)



شکل 10- نمودار تغییرات ظرفیت خازن پلی آیلین کاغذی در برابر زمان در هوای آزاد برای غلظت دوپه کننده 6N.

به مقدار بیشه خود می رسد. با انتخاب غلظت بیشتر ظرفیت همان خازن پس از شش دقیقه (زودتر از حالت قبل) به مقدار بیشه خود می رسد. این نتایج تجربی با نتایج نظری که طبق آن نفوذ دوپه کننده در پلی آنیلین صفحه مانند است کاملاً مطابقت دارند. همچنین، ظرفیت بیشه یکسان خازنهای با دی الکتریک یک مورد بحث است. این کار تجربی که ضخامت دی الکتریک آنها با زمان دوپه شدن کاهش می یابد بار دیگر این نظریه را تأیید می کند.

مراجع

1. Diaz A. F. and Logan J. A.: " Electroactive Polyaniline Films", *J. Electroanal. Chem.*, **111**, 111, 1980.
2. MacDiarmid A. G., Chiang J. C., Richter A. F. and Epstein A. J.: "Polyaniline: A New Concept in Conducting Polyanilines", *Synth. Met.*, **18**, 258, 1987.
3. Angelopoulos M., Ray A., MacDiarmid A. G. and Epstein A. J.: "Polyaniline: Processability from Aqueous Solutions and Effect of Water Vapor on Conductivity", *Synth. Met.*, **21**, 21, 1987.
4. Lundberg B., Salaneck W. R. and Lundstrom I.: " Pressure, Temperature and Field Dependence of Hopping Conduction in Polyaniline", *Synth. Met.*, **21**, 143, 1987.
5. Epstein A. J., Gimder J. M., Zuo F., Woo H. S., Tanner D. B., Richter A. F., Angelopoulos M., Huang W. S. and MacDiarmid A. G.: " Insulator-to-Metal Transition in Polyaniline. Effect of Protonation in Emeraldine", *Synth. Met.*, **21**, 63, 1987.
6. Ray A., Asturias G. E., Kershner D. L., Richter A. F., MacDiarmid A. G. and Epstein A. J.: " Polyaniline: Doping, Structure and Derivatives", *Synth. Met.*, **29**, E141, 1989.
7. Travers J. P. and Nechtschein M.: " Water Effects in Polyaniline: A New Conduction Process", *Synth. Met.*, **21**, 135, 1987.
8. Focke W. W., Wnek G. E., and Wei Y.: " Influence of Oxidation State, PH and Counterion on the

است، بنابراین کلیه منحنیهای مورد بحث پس از زمان دوپه شدن کافی به یک مقدار بیشه ثابت می رسند که در شرایط مساوی دو خازن مورد نظر (از لحاظ ضخامت صفحات نارسانای پلی آنیلین) ، هرچه غلظت اسید دوپه کننده بیشتر باشد این مقدار بیشه در زمانهای دوپه شدن کمتری حاصل خواهد شد. - منحنیهای تغییرات ظرفیت محاسبه و اندازه گیری شده در شکلهای 5 تا 8 نشان می دهند که نتایج تجربی و نظری با یکدیگر مطابقت دارند.

پاینداری خازن پلی آنیلین در خلأ (10^{-6} mm Hg) و هوای آزاد (در آزمایشگاه) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اندازه گیریها که در هر دو حالت به وسیله دستگاه RCL متر ۱۳۰ PM انجام گرفت، در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. همان طور که شکل ۹ نشان می دهد، در خلأ ظرفیت خازن پلی آنیلین کاملاً ثابت است ولی وقتی این خازن در معرض هوا قرار می گیرد ظرفیت آن با گذشت زمان کاهش می یابد (شکل ۱۰). علت این کاهش میادله پروتون بین فاز جامد پلی آنیلین و فاز متحرک آب است [۱۳]. همچنین نشان داده شده است که در پلی آنیلین هر دو مولکول ثابت و متحرک آب وجود دارند [۱۴]. از آنجا که وجود مولکولهای آب حرکت عامل آلاینده را آسانتر می کند، نتیجه می شود که خازن پلی آنیلین در هوای آزاد به علت راحتی جابه جا شدن عامل آلاینده در مجاورت آب بسیار ناپایدار است.

نتیجه گیری

در این کار پژوهشی طرح و ساخت خازنهای کاغذی با صفحات پلی آنیلین رسانا با ظرفیت حدود یکوفاراد بررسی شد. همان طور که نتایج نشان می دهد، مقدار ظرفیت بیشه بدست آمده در حدود ۴۰ پیکوفاراد است. می توان با انتخاب زمان دوپه شدن مناسب ظرفیت مورد نظر را بین کسری از پیکوفاراد تا این مقدار بیشه انتخاب کرد. همچنین، می توان با انتخاب دی الکتریک نازکتر، به شرطی که ولتاژ شکست زیاد کاهش داده نشود، خازنی با ظرفیت بیشتر نیز ساخت. در این کار تجربی از دوپه کننده HCl با دو غلظت مختلف (۱.۲N و ۶N) استفاده شده است. مقایسه نمودارهای حاصل از اندازه گیریهای ظرفیت در زمانهای دوپه شدن مختلف برای دو ضخامت ۸۰ و ۱۰۰ میکرومتر پلی آنیلین نارسانا در غلظت ثابت نشان می دهد که نفوذ دوپه کننده در پلی آنیلین نارسانا صفحه مانند است. با توجه به نتایج بدست آمده معلوم می شود که در غلظت ثابت دوپه کننده ظرفیت خازن مربوط به ضخامت ۸۰ میکرومتر زودتر (پس از ۱۲ دقیقه) از ظرفیت خازن مربوط به ضخامت ۱۰۰ میکرومتر

- Conductivity of Polyaniline", *J. Phys. Chem.*, **91**, 581, 1987.
9. Vander Pauw L. J., "A Method of Measuring the Resistivity and Hall Coefficient on Lamellae of Arbitrary Shape", *philips Tech. Rev.*, **20**, 220, 1958/9.
10. Akheel A. and Dinesan K., "Review Polyaniline-A Novel Polymeric Materials", *Talanta.*, **38**, 8, 815, 1991.
11. Tan K. L., Tan B. T. G., Khor S. H., Neoh K. G., and Kang E. T., "The Effects of Synthesis Conditions on the Characteristics and Chemical Structures of Polyaniline: A Comparative Study", *J. Phys. Chem. Solids.*, **52**, 5, 673, 1991.
12. Huang S. C., Huang S. M., NG H. and Kaner R. B., "Polyaniline Capacitors", *Synth. Met.*, **55**, 4047, 1993.
13. Nechtschein M., Santier C., Travers J. P., Chroboczek J., Alix A. and Ripert M., "Water Effects in Polyaniline: NMR and Transport Properties", *Synth. Met.*, **18**, 311, 1987.
14. Timofeeva O. N., Lubentsov B. Z., Sudakova Ye.Z., Chernyshor D. N. and Khidekel M. L., "Conducting Polymer Interaction with Gaseous Substances. I. Water", *Synth. Met.*, **40**, 111, 1981.