

سنتز نانو ذرات فریت مس منگنز به روش همرسوبی و بررسی خواص حسگری آن برای اتانل

حمیدرضا ابراهیمی^{۱*}، سیدعلیرضا سروری^۱، مجید مظفری^۲، حسن غفوری^۱

۱- مرکز تحقیقاتی مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران

۲- گروه شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، سمنان، ایران

*hebrahimi2010@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۲)

چکیده

در این مطالعه نانو ذرات فریت مس منگنز به روش همرسوبی ساخته، و سپس با عملیات حرارتی به نانو ذرات مغناطیسی تبدیل شد، که روش به کار رفته برای ساخت نانو ذرات، روش کارآمدی برای ساخت این نوع از ترکیبات است. خواص ساختاری نانو ذرات فریت مس منگنز توسط تکنیک طیف نگاری پراش پرتو ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفت. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) ترکیب توزیع یکنواخت نانو ذرات در مقیاس زیر 20 نانومتر را نشان می دهد. برای بررسی خواص حسگری، این نانو ذرات به صورت یک قرص پرس شده در آورده شد. سپس قرص در یک محفظه با قابلیت کنترل دما قرار داده شد. حلال های کربن تتراکلرید، اتانل، متانل، استونیتریل، استون، وینیل استات، اکریلونیتریل، آمونیاک و فرم آمید تبخیر شدند و سپس در معرض نانو ذرات قرار داده شدند. پاسخ حلال های مورد آزمایش توسط یک برد الکترونیکی حساس به تغییر مقاومت الکتریکی خوانده شد و اطلاعات حاصله توسط نرم افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که در بین این حلال ها بهترین حساسیت پذیری برای اتانل در دمای 100 درجه سانتیگراد به دست آمد.

واژه های کلیدی:

نانو ذرات فریت مس منگنز، پراش پرتو ایکس، حساسیت پذیری، اتانل.

۱- مقدمه

قابلیت های بیشتر، احساس می شود. حسگرهایی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند، دارای حساسیت بالایی هستند، به طوری که به مقادیر بسیار ناچیزی از گازهای مختلف، گرما یا تشعشع حساس می باشند. بالا بردن درجه حساسیت، بهره و دقت این حسگرها نیاز به کشف مواد و ابزارهای جدید دارد. با آغاز عصر

نانو حسگرها از عناصر حس کننده ای در مقیاس نانو استفاده می کنند که حساسیت بسیار بالایی از خود نشان می دهند. این حسگرها باید بادوام، دارای استحکام بالا و خواص الکتریکی خوبی باشند. با پیشرفت علم و پیدایش تجهیزات الکترونیکی و تحولات عظیمی که در چند دهه ی اخیر به وقوع پیوسته است، نیاز به ساخت حسگرهایی دقیق تر، کوچک تر و دارای

در این روش مواد با هم ترکیب شده و از یک ماده رسوب دهنده مثل سدیم هیدروکسید استفاده می‌شود. سپس رسوب به دست آمده را تحت عملیات حرارتی قرار داده شد تا پودر مورد نظر به دست آید [۱۲].

در روش هم‌رسوبی عواملی مانند زمان، دما و غلظت موثر بوده و اساس آن بر مبنای واکنش نمک‌های فلزی دو ظرفیتی و سه ظرفیتی با باز می‌باشد [۱۳-۱۴].

از عوامل موثر دیگر در واکنش هم‌رسوبی، ترکیب و آهنک اضافه کردن واکنش‌گرها بوده که بر روی اندازه ذرات اثر دارد. اضافه کردن باز (NaOH) به مخلوط نمک‌های محلول اولیه با سرعت پایین، سبب کامل شدن واکنش می‌گردد. عامل موثر دیگر در روش هم‌رسوبی، میزان pH محیط واکنش بوده که در اندازه ذرات تاثیر گذار است. فریت‌هایی که در pH با غلظت کمتر از ۱۰ تهیه شده‌اند، ساختار آمورف پیدا کرده و در pH حدود ۱۲ علاوه بر کامل شدن واکنش، اندازه ذرات نیز کاهش می‌یابد [۱۵-۱۷].

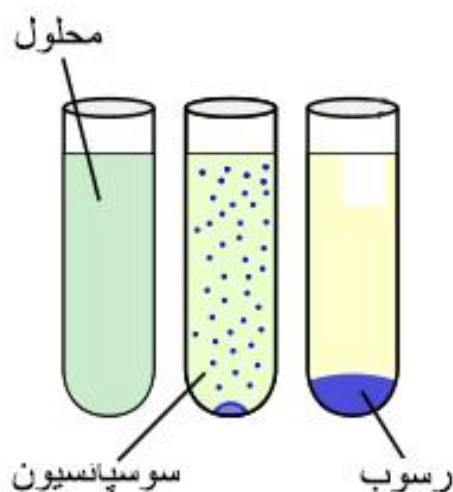
فریت، ماده‌ای مغناطیسی است که جز اصلی تشکیل دهنده آن اکسید آهن بوده و دارای خاصیت فرومغناطیسی می‌باشد. پارامترهای مغناطیسی مطلوبی نظیر ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی، اندوکسیون اشباع و مقاومت ویژه الکتریکی بالا (در حدود ۱۰۱۲ اهم)، از جمله اصلی‌ترین خصیصه‌های آن به شمار می‌رود. به این صورت کاربردهای بسیار وسیعی را در زمینه صنایع برق، الکترونیک، مخابرات، کامپیوتر و... به خود اختصاص داده است. فریت‌ها دارای خاصیت فری‌مغناطیس می‌باشند. نظم مغناطیسی موجود در فری‌مغناطیس‌ها ناشی از برهمکنش دو قطبی‌های مغناطیسی نیست، این نظم در اثر برهمکنشی است که در همپوشانی اوربیتال‌های اتمی به وجود می‌آید. در فریت‌ها برهمکنش تبدیلی ناشی از همپوشانی الکترون‌های اوربیتال 3d و الکترون‌های اوربیتال 2p و یون‌های اکسیژن بوده و قدرت این برهمکنش تبدیلی است که خاصیت مغناطیسی نمونه را به وجود می‌آورد [۱۸-۲۰].

نانو فناوری، حسگرها نیز تغییرات شگرف و عمیقی داشته‌اند [۳-۱].

هم زمان با پدید آمدن انقلاب صنعتی، تاثیر منفی صنایع مختلف بر روی سلامتی انسان پدیدار شد. یکی از این تاثیرات منفی به وجود آمده، افزایش گازهای مضر است که شناسایی این گازها می‌تواند به بهبود سلامت زندگی انسان‌ها منتهی شود. همچنین تشخیص گازهای قابل اشتعال و به خصوص بی بو از ایجاد انفجارهای عظیم جلوگیری می‌کند. در سال‌های اخیر توجه زیادی به کنترل میزان گازهای سمی و قابل اشتعال در سیستم‌های کنترلی شده است [۴-۸].

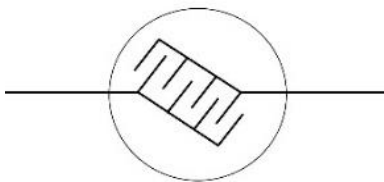
به طور کلی واکنش نانو حساسه‌های گازی در دمایی بین ۱۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد قابل انجام است. به همین دلیل برای بالا بردن راندمان آن‌ها نیاز است که به طور یکنواخت و از داخل به آن‌ها گرما داده شود تا دمای مورد نیاز واکنش با گاز تامین گردد. علاوه بر دما، نسبت سطح به حجم نیز بسیار حائز اهمیت است، چرا که این نسبت تاثیر مستقیمی بر روی نتایج خروجی حسگر دارد [۹-۱۱].

روش هم‌رسوبی جزء روش‌های شیمیایی کارآمد برای تهیه نانو ذرات است. هم‌رسوبی فرآیندی است که در آن یک ماده محلول در محیط به یک ساختار نامحلول تبدیل می‌شود. در شکل (۱) نمای کلی از این روش را نمایش داده شده است.



شکل (۱): نمای کلی از روش هم‌رسوبی

می‌کا به قطر ۱۴ میلی‌متر برش داده شد. سپس دو سری سیم مسی به شکل E مقابل هم روی این صفحه می‌کا مطابق شکل (۲) قرار می‌دهیم به نحوی که با هم اتصال نداشته باشند.



شکل (۲): شماتیک بستر قرص حساسه مورد استفاده

بعد از این مرحله، ۰/۲ گرم از پودر تشکیل شده به مدت ۳۰ دقیقه توسط دستگاه پرس دستی و تحت فشار زیاد بر روی سطح قرص قرار گرفت تا پودر کاملاً به سطح آن بچسبند.

۲-۴- دستگاه تست حساسه

برای تست حساسه‌ها نیاز به یک محیط آزمایشگاهی قابل کنترل می‌باشد که بتوان شرایط مختلف دمایی و رطوبتی را ایجاد کرد تا پاسخ حساسه به گازهای هدف با کمترین میزان خطا حاصل گردد. به همین منظور دستگاهی جهت انجام این آزمایشات طراحی و ساخته شد. از ویژگی‌های مهم این دستگاه می‌توان به قابلیت اندازه‌گیری همزمان هفت عدد حسگر اشاره نمود. همچنین این دستگاه می‌تواند دمایی بین دمای محیط تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد را بر روی حسگر اعمال کند. ظرفیت مخزن این دستگاه چهار لیتر است و توانایی خواندن مقدار مقاومت حسگرها از ۰ تا ۱۰۰ مگا اهم را دارد. [۲۰-۲۴]

۲-۵- عملکرد دستگاه تست حساسه

در دستگاه تست حساسه شش جزء اصلی وجود دارد که به ترتیب عبارتند از: کمپرسور هوای فشرده، مخزن گاز، محفظه حساسه‌ها، جعبه کنترل مرکزی، مبدل آنالوگ به دیجیتال و کامپیوتر جهت نمایش و ذخیره نتایج که در ادامه قسمت‌های مختلف دستگاه به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲- مواد و روش انجام تحقیق

۲-۱- ساخت نانو حساسه فریت مس منگنز

ساخت نانو حساسه‌ها به طور کلی شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول طرز تهیه نانو مواد تشکیل دهنده حساسه که باید نسبت به یک یا بیش از یک گاز حساس باشد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله دوم باید بستری ساخته شود که آستانه تحمل دمایی آن تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد باشد. این بستر همچنین باید ساختار لازم جهت چسبندگی نانو مواد را داشته باشد و عایق الکتریکی باشد [۲۱-۲۴].

۲-۲- روش تهیه نانو ذرات فریت مس منگنز

برای تهیه نانوذرات فریت مس منگنز به ترتیب نمک‌های آهن نیترات ۹ آبه، مس نیترات ۳ آبه و منگنز نیترات ۴ آبه در آب مقطر دیونیزه حل می‌گردد. پس از حل شدن کامل سه محلول فوق، ابتدا مس نیترات را به محلول آهن اضافه و سپس محلول منگنز نیترات به این مجموعه اضافه شد. در این مرحله نسبت مولی آهن:مس:منگنز به ترتیب ۴:۱:۱ رسید. بعد از ۳۰ دقیقه هم زدن، میزان pH محلول حاصل شده با کمک محلول سدیم هیدروکسید ۸ مولار به ۱۲ رسید. که در این مرحله نانو ذرات فریت مس منگنز به صورت رسوب قهوه‌ای رنگ از محلول خارج شد. رسوب حاصله پس از چندین بار شستشو با آب مقطر به مدت ۴ ساعت در کوره در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا به طور کامل خشک شود. در نهایت برای مغناطیسی شدن پودر به دست آمده از مرحله قبل به مدت یک ساعت پودر حاصله در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. به این ترتیب نانو فریت مناسب جهت آزمایش حسگری در مراحل بعد به دست آمد.

۲-۳- لایه نشانی پودر بر روی بستر عایق می‌کا

پودر حاصل از روش هم‌رسوبی که تحت عملیات حرارتی قرار گرفته بود، بر روی قرص دایره‌ای از جنس ورق عایق می‌کا قرار گرفت. برای انجام این کار قرصی دایره‌ای شکل از ورق جنس

۳-۳- نتایج طیف نگاری فلئورسانس پرتو ایکس (XRF)

آزمایش طیف نگاری فلئورسانس پرتو ایکس، برای تجزیه و تحلیل و تعیین درصد دقیق عناصر در لایه‌های سطحی استفاده می‌شود. این تکنیک توانایی انجام آنالیز عنصری به صورت کمی نمونه‌ها به خصوص نمونه‌های معدنی را دارا است. این آزمایش تاییدی بر وجود عناصر اصلی تشکیل دهنده ترکیب فریت منگنز مس است. طبق جدول (۱) عناصر اصلی ترکیب یعنی عناصر آهن، مس و منگنز قابل تشخیص هستند.

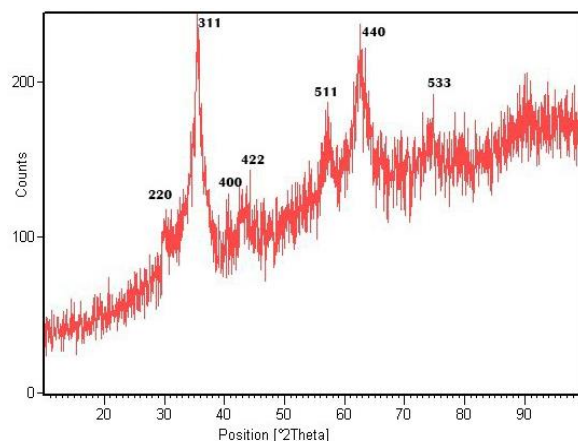
جدول (۱): نتایج آزمایش طیف نگاری فلئورسانس پرتو ایکس (XRF)

نوع اتم تشکیل دهنده	درصد وزنی
Fe	63.77
Cu	20.05
Mn	15.13

۳-۴- تحلیل خروجی های حسگر

در این پژوهش نانو حساسه فریت منگنز مس در برابر حلال‌های کربن تتراکلرید، اتانل، متانل، استونیتریل، استون، وینیل استات، اکریلونیتریل، آمونیاک و فرم‌آمید مورد آزمایش قرار گرفت. پس از این که گازهای ذکر شده در دماهای بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد آزمایش شدند، گاز هدف و دمای بهینه برای مشخص کردن بهترین عملکرد حساسه مشخص شد. تمام این آزمایشات با غلظت ۲۵۰ ppm صورت گرفت. در ادامه به بررسی نتایج حاصل از مطالعه حساسیت‌پذیری از دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد پرداخته خواهد شد. معیار انتخاب بهترین حساسه از نظر عملکرد، سرعت پاسخ حساسه و بیشترین بازه تغییرات مقاومتی می‌باشد. با توجه به این تعریف بهترین حساسه باید زمانی که در معرض گاز قرار می‌گیرد، بیشترین اختلاف مقاومت الکتریکی را با سریع‌ترین پاسخ داشته باشد.

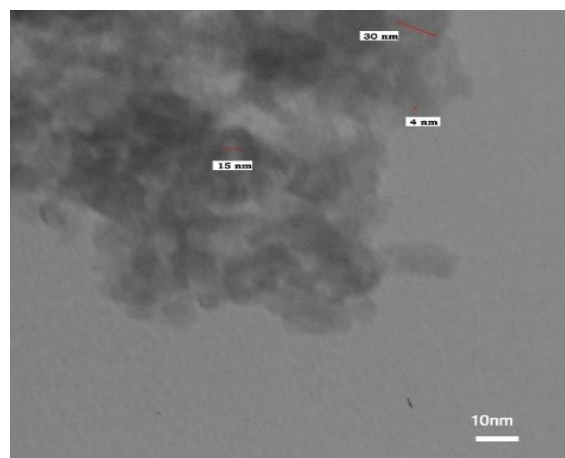
در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد گاز اتانل بهترین پاسخ را داشته است، که اختلاف حداکثر و حداقل مقاومت الکتریکی حساسه (دلتا) آن در حدود ۱/۲ مگا اهم بوده و سرعت پاسخ حساسه نیز



شکل (۴): نمودار طیف نگاری پراش پرتو ایکس (XRD) نانو ذرات فریت مس منگنز

۳-۲- نتایج آزمایش میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

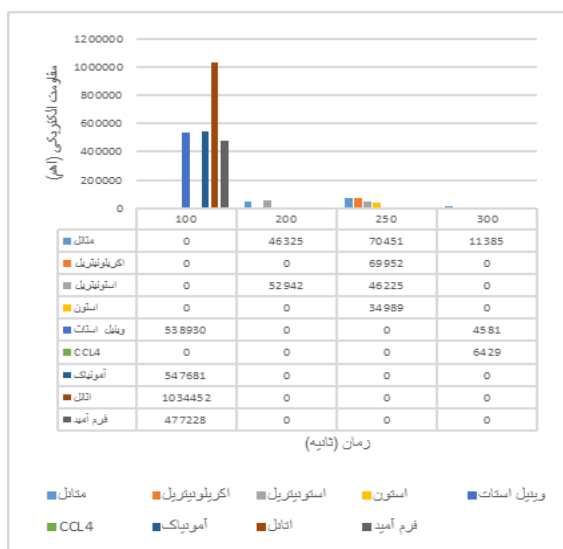
تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری آخرین گام در تایید تشکیل نانو ذرات است. علاوه بر اندازه، تا حدودی شکل نانو ذرات را نیز می‌توان با این تکنیک تعیین کرد. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری به دست آمده از ترکیب فریت منگنز مس به دست آمده در این مطالعه، تشکیل نانو ذرات در مقیاس کمتر از ۲۰ نانومتر را تایید می‌کند. همان طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، متوسط اندازه نانو ذرات کمتر از ۲۰ نانومتر است.



شکل (۵): تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نانو ذرات فریت مس منگنز

۶۶ کیلو اهم می‌باشد که بسیار مطلوب است. به ترتیب گازهای استون و اکریلونیتریل نیز بر روی حساسه اثر گذار هستند. گازهای موثر بر روی نانو حساسه فریت منگنز مس در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد عبارتند از کربن تتراکلرید، متانل و وینیل استات که سریع‌ترین جواب با دلتای ۶ کیلو اهم مربوط به گاز کربن تتراکلرید می‌باشد. به ترتیب گازهای وینیل استات و متانل نیز با اثر کمتر بر روی مقاومت الکتریکی حساسه تغییر ایجاد می‌کنند که نتایج آن در شکل (۶) قابل مشاهده است.

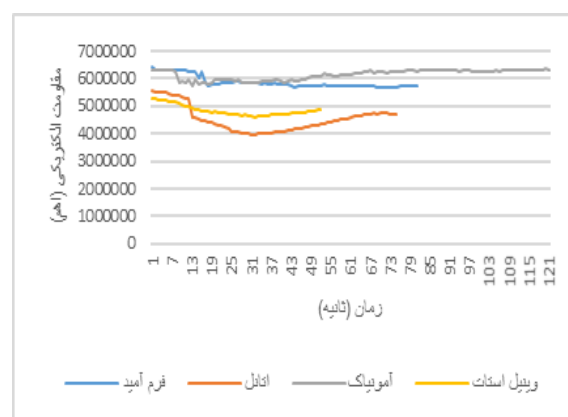
در شکل شماره (۷) عملکرد حسگر در دماهای بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد و با ۹ گاز مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این حسگر در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد بهترین عملکرد را از نظر دامنه تغییرات (دلتا) و همچنین سرعت پاسخگویی دارد. از لحاظ اقتصادی هر چه حساسه در دمای پایین تری کار کند مقرون به صرفه تر خواهد بود، چرا که تولید دمای بالاتر نیاز به انرژی و تجهیزات بیشتر خواهد داشت. از این رو ما دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد را مورد توجه بیشتری قرار گرفت. چون از بین گازهای مورد سنجش در این دما اتانل بهترین پاسخ را نشان داد این حساسه را می‌توان به حساسه تشخیص اتانل نام گذاری کرد.



شکل (۷): بررسی اثر تمام گازهای تست شده بر روی حساسه در دمای ۱۰۰

تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد و غلظت 250 ppm

کمتر از ۱ ثانیه بوده است. بعد از آن به ترتیب گازهای آمونیاک، فرم آمید و وینیل استات تغییراتی جزئی داشته‌اند. در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد، گازهای کربن تتراکلرید، اتانل، متانل، استونیتریل، استون، وینیل استات و آمونیاک باعث تحریک‌پذیری حساسه شدند، ولی حساسه از پایداری لازم برخوردار نبود و مقادیر خروجی دارای نویز بسیار زیادی بودند که این مشکل باعث عدم تکرارپذیری آزمایش خواهد شد و نتایج کاملاً ناپایدار و غیر قابل پیش‌بینی خواهند بود.



شکل (۶): بررسی اثر گازهای وینیل استات، آمونیاک، اتانل و فرم آمید بر روی حساسه در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد با غلظت 250 ppm

از بین تمام گازهای تست شده بر روی حساسه، گازهای متانل و استونیتریل در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد باعث تغییرات کوچکی در حساسه شدند. دلتای این تغییرات حداکثر ۵۵ کیلو اهم بوده است ولی سرعت پاسخگویی حسگر پایین است. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، چهار گاز استونیتریل، متانل، استون و اکریلونیتریل بر روی حساسه در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد اثر گذار هستند. در این دما گاز استونیتریل دارای بهترین نتیجه بوده چرا که سرعت پاسخگویی حساسه به این گاز بیشتر از سایر گازها است و همچنین دلتای آن معادل ۵۱ کیلو اهم می‌باشد. همچنین گاز متانل نیز پاسخ خوبی دارد ولی سرعت پاسخ آن کندتر از استونیتریل است و دلتای آن

- [5] M. M. Rahman, G. Gruner, M. S. Al-Ghamdi, M. S. Daous, S. Bahadar Khan & A. M. Asiri, "Chemo-sensors development based on low-dimensional codoped Mn₂O₃-ZnO nanoparticles using flat-silver electrodes", Chemistry Central Journal, Vol. 1, pp. 7-60, 2013.
- [6] S. Singh, N. Verma, B. C. Yadav & R. Prakash, "A comparative study on surface morphological investigations of ferric oxide for LPG and optoelectronic humidity sensors", Surface Science, Vol. 258, pp. 8780-8789, 2012.
- [7] B. C. Yadav, S. Singh & A. Yadav, "Nanonails structured ferric oxide thick film as room temperature liquefied petroleum gas (LPG) sensor", Surface Science, Vol. 257, pp. 1960-1966, 2011.
- [8] K. Winiarska, I. Szczygieł & R. Klimkiewicz, "Manganese-Zinc Ferrite Synthesis by the Sol-Gel Autocombustion Method. Effect of the Precursor on the Ferrite's Catalytic Properties", American Chemical Society, Vol. 52, No. 1, pp. 353-361, 2013.
- [9] R. B. Kamble & V. L. Mathe, "Nanocrystalline nickel ferrite thick film as an efficient gas sensor at room temperature", Sensors and Actuators, Vol. 131B, pp. 205-209, 2008.
- [10] S. Zhipeng, L. Lang, J. Dian zeng & P. Weiyu, "Simple synthesis of CuFe₂O₄ nanoparticles as gas-sensing materials", Sensors and Actuators, Vol. 125B, pp. 144-148, 2007.
- [11] S. S. Joshi, C. D. Lokhande & H. H. Sung, "A room temperature liquefied petroleum gas sensor based on all-electrodeposited n-CdSe/p-polyaniline junction", Sensors and Actuators, Vol. 123B, pp. 240-245, 2007.
- [12] I. Polaert, S. Bastien, B. Legras, L. Estel & N. Braidy, "Dielectric and magnetic properties of NiFe₂O₄ at 2.45 GHz and heating capacity for potential uses under microwaves", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, pp. 731-739, 2015.
- [13] H. Meixner, J. Wiley & Sons, "Micro-and Nanosensor Technology: Trends in Sensor Markets", Sensors, No. 8, pp. 1, 2008.
- [14] M. K. Jaiswal, D. Mrinmoy, S. S. Chou, S. Vasavada, R. Bleher, P. V. Prasad, D. Bahadur & V. P. Dravid, "Thermoresponsive Magnetic

۴- نتیجه گیری

تشکیل ساختار نانو ذرات فریت مس منگنز توسط آزمایشات XRD مورد تایید قرار گرفت. تصویر TEM این ترکیب تشکیل این نانو ذرات در مقیاس زیر ۲۰ نانومتر را به خوبی مورد تایید قرار می‌دهد. برای مطالعه رفتار حساسیت پذیری این نانو حساسه، تغییرات مقاومت آن را در برابر حلال‌های کربن تتراکلرید، اتانل، متانل، استونیتریل، استون، وینیل استات، اکریلونیتریل، آمونیاک و فرم‌آمید مورد آزمایش قرار گرفت، که این بررسی در دماهای بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد و با غلظت ۲۵۰ ppm گاز صورت گرفت. بهترین پاسخ حساسه در این مطالعه مربوط به اتانل در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به دست آمد. از این رو این حساسه گزینه مناسبی برای ساخت نمونه تجاری حساسه تشخیص اتانل معرفی می‌گردد.

۵- سپاسگزاری

از کلیه مسئولین دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

- [1] A. D. Wilson & M. Baietto, "Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies", sensors, Vol. 9, pp. 50, 2009.
- [2] F. Toshio, "Keynote speaker I: Cell analysis and assembly by micro and nano robotics system", in Region 10 Symposium, Vol. 10, pp. 1-5, 2014.
- [3] S. Ayşin & M. Ezel, "Nanotechnology Innovations for the Sustainable Buildings of the Future", Architectural and Environmental Engineering, Vol. 8, pp. 1, 2014.
- [4] R. D. Ladhe, K. V. Gurav, S. M. Pawar, J. H. Kim & B. R. Sankapal, "p-PEDOT: PSS as a heterojunction partner with n-ZnO for detection of LPG at room temperature", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 5015, pp. 80-85, 2012.

- Berkeley National Laboratory, Vol. 26, pp. 1667, 2011.
- [20] E. S. Zohora, A. M. Khan, A. K. Srivastava & N. Hundewale, "Chemical Sensors Employed In Electronic Noses", International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Vol. 2, pp. 405-408, 2013.
- [21] R. Shakya, K. Rajanwal & S. Patel, "Comparative Analysis of Fuzzy Logic Controller and Conventional PID for Temperature Control", International Journal of Advances in Engineering Science and Technology, Vol. 383, pp. 383-389, 2013.
- [22] K. S. Mousavi Mashhadi, M. Zahiri Savzevar & J. Ghobadi Dizaj Yekan, "Simulation of Temperature Controller for an Injection Mould Machine using Fuzzy Logic", Journal of mathematics and computer Science, Vol. 7, pp. 33-42, 2013.
- [23] C. Brandt, "The Identification of Chemicals using Clustering and Extrapolation From an External Database for Electronic Nose Sensors", Journal of Young Investigators, Vol. 1, pp. 5, 2008.
- [24] C. Brandt, "The Identification of Chemicals using Clustering and Extrapolation From an External Database for Electronic Nose Sensors", Journal of Young Investigators, Vol. 1, pp. 5, 2008.
- Hydrogels as Theranostic Nanoconstructs", American Chemical Society, Vol. 6, pp. 6237-6247, 2014.
- [15] S. Balasubramaniam, S. Kayandan, Y. N. Lin, D. F. Kelly, W. C. Robert, S. G. Timothy & M. J. House, "Toward Design of Magnetic Nanoparticle Clusters Stabilized by Biocompatible Diblock Copolymers for T2-Weighted MRI Contrast", American Chemical Society, Vol. 30, No. 6, pp. 1580-1587, 2014.
- [16] R. V. Roosbroeck, W. V. Roy, T. Stakenb, J. Trekker, A. D. Hollander, T. Dresselaer, J. Lammertyn & L. Lagae, "Synthetic Antiferromagnetic Nanoparticles as Potential Contrast Agents in MRI", American Chemical Society, Vol. 8, pp. 2269-2278, 2014.
- [17] M. K. Jaiswal, M. De, S. S. Chou, S. Vasavada, R. Bleher, P. V. Prasad, D. Bahadur & V. P. David., "Thermoresponsive Magnetic Hydrogels as Theranostic Nanoconstructs", American Chemical Society, Vol. 6, No. 9, pp. 6237-6247, 2014.
- [18] R. Sharma, A. Sharma & C. J. Chen, "State of Art on Bioimaging by Nanoparticles in Hyperthermia and Thermometry: Visualization of Tissue Protein Targeting", The Open Nanomedicine Journal, Vol. 3, pp. 10-23, , 2011.
- [19] F. Morrison, A. Becker, U. Conti & E. Gasperikova, "Ferrite-Cored Solenoidal Induction Coil Sensor For Bud (MM-1667) ", Lawrence