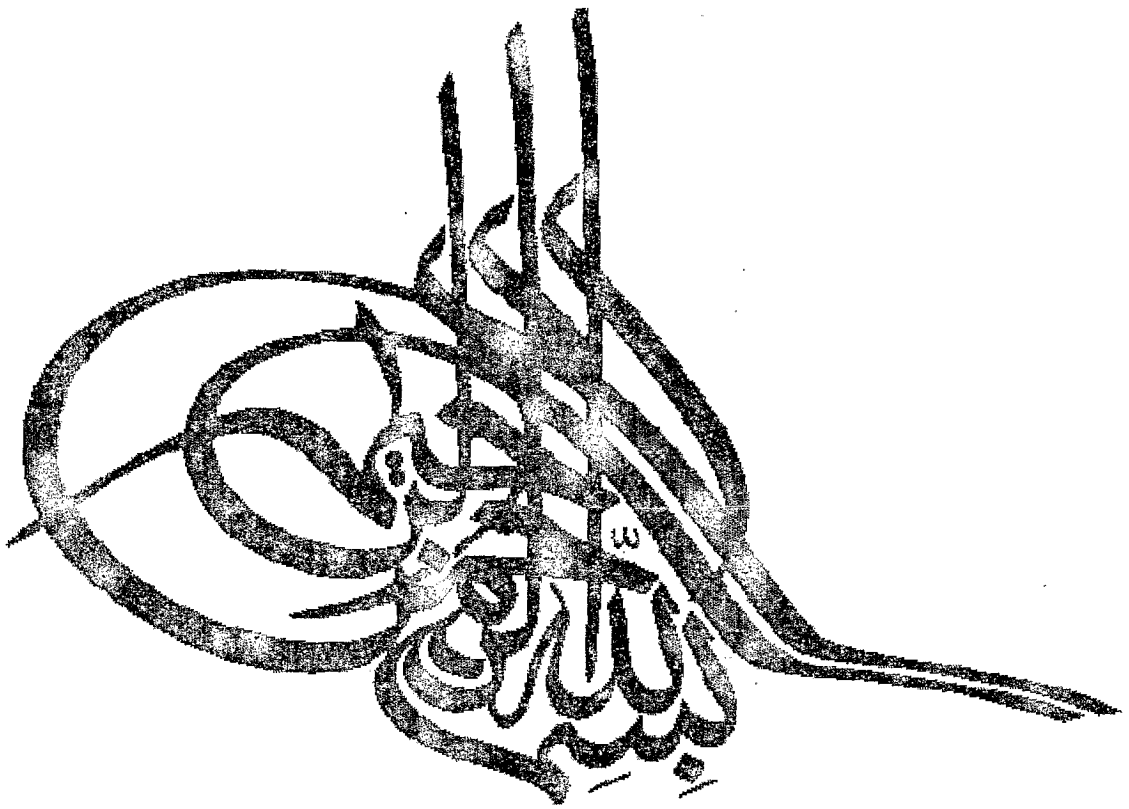
٢٧٨٤



٩٤٨٢٢٠

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

رساله دکترای مهندسی شیمی

تعیین سینتیک کریستالیزاسیون واکنشی نانوذرات نقره

ستار قادر

۱۳۸۷ /۲/ ۲۹

استاد راهنما:

دکتر مهرداد منطقیان

اساتید مشاور:

دکتر مهرداد کوکبی

دکتر رسول صراف مأموری

مهر ۸۶

۹۳۸۲۲

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله‌دکتری

آقای ستار قادر رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان تعیین سینتیک کریستالیزاسیون واکنشی نانو ذرات نقره در تاریخ ۱۳۸۶/۷/۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی شیمی – مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مهرداد منطقیان	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر مهرداد کوکبی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر رسول صراف مأموری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا امیدخواه نسرین	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حسن پهلوانزاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر داریوش باستانی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدعلی موسویان	استاد	۸۶/۷/۸
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدرضا امیدخواه نسرین	دانشیار	

۱۳۸۷ /۲/ ۳۱

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

دستور العمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه:با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت وکرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی ومعنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی دانشجویان دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح درمورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه وساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره‌برداری ازآن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه‌ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسید ه و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقدیر و تشکر

خدای خوب و مهربان را سپاسگذارم که به من سلامتی بخشید و توان اندیشیدن را بر من میسر گردانید، که بی مدد و یاری او هیچ آغازی به انجام نخواهد رسید. در تدوین این رساله اساتید بزرگوار و دوستان زیادی اینجانب را یاری کردند که از همه کسانی که به نحوی در این کار سهیم بوده اند تشکر و قدردانی می نمایم. بی شک این رساله بدون راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر مهرداد منطقیان استاد راهنمای بزرگوارم غیر ممکن می نمود. لذا بر خود لازم می دانم که از زحمات ایشان تشکر و قدردانی فراوان نمایم. از آقای دکتر مهرداد کوکبی و دکتر رسول صراف مأموری که استاد مشاوری اینجانب را پذیرفتند بسیار سپاسگزارم. از زحمات و توجهات سرکار خانم تیموری و جناب آقای مهندس رضایی کمال تشکر و قدردانی را دارم. برای دوستان بی‌نظیر دانشگاهی‌ام که هر یک به نحوی یاریگر اینجانب بوده اند آرزوی بهترین‌ها را دارم.

تقدیم به:

پدر و مادر خوب و مهربانم

و

برادر عزیزم

چکیده

نانوذرات نقره از اهمیت زیادی در صنعت و تحقیقات دانشگاهی برخوردارنـد و مهـم تـرین عامل تحقیق و مطالعه در مورد این مواد خواص نوری، الکتریکـی، مغناطیـسی، سـختی، شـکنندگی، نقطه ذوب، سرعت حل شدن و ... آنهاست که تابع شکل و اندازه آنها می باشد. مهم ترین عاملی که بر اندازه و شکل این نانوذرات تأثیر دارد سینتیک کریـستالیزاسیون مـی باشـد. در ایـن تحقیـق ابتـدا نانوذرات نقره با واکنش نیترات نقره با هیدرازین در حضور سـیترات سـدیم تولیـد شـدند. سـیترات سدیم با ایجاد دافعه الکتریکی موجب پایدار شدن نانوذرات می شـود. در نتیجـه نـانوذرات نقـره بـا روشی آسان در دمای اتاق و محیط آبی تولید می شوند. از نـانوذرات عکـس *TEM* و طیـف جـذب *UV – vis* گرفته شد. سپس روشی برای تولید نانوذرات مثلثی ارائه و تغییراتی که در خواص نـوری و طیف جذب این ذرات روی می دهد تشریح گردید. غلظت نیتـرات نقـره و هیـدرازین و *pH* بـر طیف جذب نانومثلث‌ها تأثیر زیادی دارد. در ادامه بررسی سینتیک کریستالیزاسیون نانوذرات به زمـان تأخیر پرداخته شد. به مدت زمانی که بین شروع واکنش و ایجاد فـوق اشـباع تـا تـشکیل نـانوذرات وجود دارد زمان تأخیر گفته می شود. پس از مدلسازی این پدیده اثـر دمـا و فـوق اشـباع بـر آن بـه صورت تجربی تعیین گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که زمان تأخیر با افزایش دمـا و فـوق اشـباع کاهش می یابد. پس از مقایسه نتایج آزمایش‌ها با نظریه کلاسیک هسته زایی کشش سطحی نانوذرات نقره محاسبه گردید. در ادامه سینتیک کریستالیزاسیون واکنشی نانوذرات تعیـین گردیـد. بـرای تعیـین سینتیک کریستالیزاسیون، با استفاده از تبدیل گشتاور معادله موازنه جمعیت، مدل محاسبه هسته زایـی و رشد نانوذرات به دست آمد. از روش تاگوچی برای طراحی آزمایش‌هـا اسـتفاده شـد و بـا انـدازه

گیری توزیع اندازه نانوذرات و غلظت و محاسبه دانسیته جمعیت در آزمایش‌های مذکور هسته زایی و رشد نانوذرات محاسبه و روابط تجربی زیر برای سینتیک کریستالیزاسیون به دست آمد:

$$B = 0.383\times10^{16}\varepsilon^{0.27}M_T^{0.43}(S-1)^{0.22}$$

$$G = 8.861\times10^{-12}\varepsilon^{0.38}(S-1)^{0.98}$$

سپس برای مقایسه سینتیک کریستالیزاسیون در مقیاس نانو با میکرون، پودر نقره با واکنش نیترات نقره با هیدرازین تولید شد. در اندازه میکرونی مشاهده شد که کریستال‌ها کلوخه هستند. با استفاده از تبدیل گشتاور معادله موازنه جمعیت و با احتساب جملات مربوط به کلوخه شدن در آن مدل تعیین هسته زایی، رشد و اگلومراسیون به دست آمد. با طراحی آزمایش به روش تاگوچی و انجام آزمایش‌ها، روابط تجربی زیر برای سینتیک کریستالیزاسیون پودر نقره به دست آمد.

$$G_v = 9.77\times10^{-24}\varepsilon(S-1)^{0.47}$$

$$B = 2.2\times10^{5}\varepsilon^{1.2}M_T^{1.6}(S-1)^{0.77}$$

$$\beta = 2.27\times10^{-44}G_v^{-1.47}B^{0.28}$$

واژه های کلیدی: سینتیک کریستالیزاسیون، هسته زایی، رشد، زمان تأخیر، نانوذرات، نقره، هیدرازین، سیترات سدیم

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل اول: مباحث نظری

۱-۱ نانوذرات ۲

۱-۲ هسته زایی و رشد ذرات ٦

۱-۳ پایداری و کلوخه شدن ذرات ۸

۱-٤ خواص و کاربردهای نانوذرات فلزات ۱۱

۱-۵ سازوکار تولید نانوذرات فلزات واسطه ۱۴

۱-٦ واکنش تولید نانوذرات نقره ۱۷

۱-۷ روش‌های تولید نانوذرات نقره ۱۸

۱-۷-۱ احیای نقره با مواد غیر آلی ۱۸

۱-۷-۲ استفاده از احیاکننده‌های آلی ۱۹

۱-۷-۳ استفاده از اشعه گاما ۱۹

۱-۷-٤ استفاده از اشعه UV ۲۰

۱-۷-۵ استفاده از اولتراسونیک ۲۰

۱-۷-٦ استفاده از لیزر ۲۰

۱-۸ روش‌های تولید نانوذرات مثلثی نقره ۲۰

۱-۹ جذب نور توسط نانوذرات فلزی ۲۴
۱-۹-۱ تشدید الکترونی دو قطبی ۲۵
۱-۹-۲ تشدید الکترونی چهارقطبی ۲۶
۱-۹-۳ تشدید الکترونی سطح (طیف جذب) نانوذرات کروی و میله ای ۲۸
۱-۹-۴ روش تعیین طیف جذب نانوذرات مثلثی ۳۲
۱-۱۰ کریستالیزاسیون واکنشی ۳۴
۱-۱۱ سینتیک کریستالیزاسیون ۳۷
۱-۱۱-۱ هسته زایی اولیه ۳۸
۱-۱۱-۲ هسته زایی ثانویه ۳۹
۱-۱۱-۳ رشد کریستال‌ها ۴۱
۱-۱۱-۳-۱ مدل رشد نفوذ- واکنش ۴۲
۱-۱۱-٤ زمان تأخیر ۴۳
۱-۱۱-۵ کلوخه شدن ذرات ۴۴
۱-۱۲ موازنه جمعیت ۴۶
۱-۱۳ تبدیل گشتاور موازنه جمعیت ۴۷
۱-۱٤ مروری بر تعیین سینتیک کریستالیزاسیون ۴۸
۱-۱۵ مدلسازی پدیده‌های سینتیکی ۵۳
۱-۱۵-۱ ارائه مدل برای زمان تأخیر تشکیل نانوذرات نقره ۵۳
۱-۱۵-۲ ارائه مدل برای سینتیک کریستالیزاسیون واکنشی نانوذرات نقره ۵۶

۱-۱۵-۳ ارائه مدل تعیین سینتیک کریستالیزاسیون همراه با کلوخه شدن ذرات ۵۸

فصل دوم: روش انجام آزمایش‌ها

۲-۱ مقدمه ۶۴

۲-۲ مواد ۶۴

۲-۲-۱ نیترات نقره ۶۴

۲-۲-۲ هیدرازین هیدرات ۶۴

۲-۲-۳ سیترات سدیم دو آبه ۶۵

۲-۲-۴ آب مقطر ۶۵

۲-۲-۵ اسید نیتریک ۶۵٪ ۶۶

۲-۲-۶ سود ۶۶

۲-۳ آزمون‌ها ۶۶

۲-۳-۱ آزمون میکروسکوپ الکترونی عبوری *TEM* ۶۷

۲-۳-۲ آزمون توزیع اندازه نانوذرات ۶۷

۲-۳-۳ آزمون طیف سنجی *UV-vis* ۶۸

۲-۳-۴ آزمون توزیع اندازه ذرات ۶۸

۲-۳-۵ آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی *SEM* ۶۸

۲-۳-۶ آزمون تعیین غلظت نقره ۶۹

۲-۴ سامانه آزمایشگاهی ۶۹
۲-۵ آزمایش تولید نانوذرات نقره ۷۱
۲-۵-۱ آماده سازی نمونه برای *TEM* ۷۲
۲-۵-۲ اندازه گیری جذب نانوذرات نقره ۷۲
۲-۶ آزمایش تولید نانوذرات مثلثی نقره ۷۳
۲-۷ آزمایش تعیین زمان تأخیر ۷۴
۲-۷-۱ روش اندازه گیری زمان تأخیر ۷۶
۲-۸ آزمایش تعیین سینتیک کریستالیزاسیون نانوذرات نقره ۷۶
۲-۹ آزمایش تعیین سینتیک کریستالیزاسیون ذرات میکرونی نقره ۷۹

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ مقدمه ۸۳
۳-۲ تولید نانوذرات نقره ۸۴
۳-۲-۱ عکس‌های *TEM* نانوذرات نقره ۸۵
۳-۳ تولید نانوذرات مثلثی ۸۸
۳-۳-۱ اثر غلظت نیترات نقره بر نانوذرات مثلثی ۹۳
۳-۳-۲ اثر غلظت سیترات سدیم ۹۶
۳-۳-۳ اثر *pH* ۹۸
۳-۳-٤ اثر غلظت هیدرازین ۱۰۰
۳-۳-۵ اثر ناخالصی Fe^{3+} ۱۰۱

۳-۳-٦ مزایای روش ارائه شده برای سنتز نانوذرات مثلثی نقره ۱۰۴

۳-۴ تعیین زمان تأخیر کریستالیزاسیون واکنشی نانوذرات نقره ۱۰۶

۳-۴-۱ تولید نانوذرات نقره ۱۰۶

۳-۴-۲ اندازه گیری زمان تأخیر ۱۰۶

۳-۴-۳ اثر میزان فوق اشباع بر زمان تأخیر ۱۰۷

۳-۴-۴ اثر دما بر زمان تأخیر ۱۰۹

۳-۵ تعیین سینتیک کریستالیزاسیون واکنشی نانوذرات نقره ۱۱۳

۳-۵-۱ نتایج تعیین غلظت و توزیع اندازه نانوذرات ۱۱۴

۳-۶ تعیین سینتیک کریستالیزاسیون ذرات میکرونی نقره ۱۲۶

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۴-۱ نتیجه گیری ۱۳۴

۴-۲ پیشنهادهای تحقیقات آتی ۱۳۶

مراجع ۱۳۷

فهرست علائم

A	سطح	(m^2)
A_{abs}	مقدار جذب محلول	–
B	سرعت هسته زایی	$(no./m^3 s)$
c	سرعت نور	(m/s)
C	غلظت	(mol/l)
C^0	غلظت اولیه	(mol/l)
C_{ext}	ضریب خاموشی	–
d	قطر همزن	(m)
G	سرعت رشد	(nm/s)
G_v	سرعت رشد حجمی	(m^3/s)
G_L	سرعت رشد خطی	$(\mu m/s)$
I	شدت نور	(cd)
k	ثابت بولتزمن	(J/K)
L	اندازه	(nm)
M	غلظت مولار	(mol/l)
M_T	دانسیته ماگما	(g/g)
MW	جرم مولکولی	(g/mol)
n	چگالی جمعیت	$(no./nm\,m^3)$
N	دور همزن	(rev/s)
N_{np}	تعداد نانوذرات در واحد حجم	$(no./m^3)$
N_p	عدد توان	–
r	شعاع	(m)
r_c	شعاع بحرانی	(m)
S	فوق اشباع	–

t	زمان	(s)
T	دما	(K)
v	حجم کریستال‌ها	(m^3)
V	حجم	(m^3)
V_m	حجم اتم	(m^3)
x	فاصله	(m)
β	ضریب کلوخه شدن	$(m^3/no.s)$
μ_j	گشتاور jام چگالی جمعیت	$(no.nm^{j-1}/m^3)$
μ'_j	گشتاور jام چگالی جمعیت بر حسب حجم	$(no.(m^3)^{j-1})$
γ	کشش سطحی	(mJ/m^2)
ΔC	اختلاف غلظت	(mol/l)
ΔG	انرژی آزاد گیبس	(J)
ΔG_c	انرژی آزاد گیبس بحرانی	(J)
ΔG_S	انرژی آزاد گیبس لازم برای ایجاد سطح	(J)
ΔG_v	انرژی آزاد در واحد حجم	(J)
ΔL	اختلاف اندازه	(nm)
Δt	اختلاف زمان	(s)
ε	سرعت اتلاف انرژی	(W/kg)
σ	فوق اشباع نسبی	–
λ	طول موج	(m)

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ مشخصات هیدرازین هیدرات ۶۳

جدول ۲-۲ مشخصات اسید نیتریک ۶۴

جدول ۲-۳ گستره متغیرهای به کار رفته در تعیین زمان تأخیر نانوذرات نقره ۷۳

جدول ۲-٤ سطوح متغیرهای به کار رفته در آزمایش تعیین سینتیک تولید نانوذرات ۷٤

جدول ۲-۵ فهرست آزمایش‌های انجام شده برای تعیین سینتیک کریستالیزاسیون نانوذرات نقره مطابق با جدول L_{18} تاگوچی ۷۵

جدول ۲-٦ سطوح متغیرهای مورد مطالعه در سینتیک کریستالیزاسیون ذرات میکرونی نقره ۷۷

جدول ۲-۷ فهرست آزمایش‌های انجام شده برای تعیین سینتیک کریستالیزاسیون ذرات میکرونی نقره بر اساس آرایه L_9 تاگوچی ۷۸

جدول ۳-۱ زمان تأخیر نانوذرات نقره در دماهای مختلف (به ثانیه) ۱۰۷

جدول ۳-۲ مقدار محاسبه شده کشش سطحی نانوذرات نقره بر حسب mJ/m^2 ۱۱۰

جدول ۳-۳ نتایج اندازه گیری غلظت یون نقره بر حسب mg/l در دقیقه ۱۵ (نمونه اول) و دقیقهٔ ۳۰ (نمونه دوم) ۱۱۲

جدول ۳-۴ نتایج محاسبه چگالی ماگما M_T بر حسب mg/l در دقیقه ۱۵ (نمونه اول) و دقیقه ۳۰ (نمونه دوم) ۱۱۳

جدول ۳-۵ مقادیر هسته زایی و رشد نانوذرات نقره در آزمایش‌های انجام شده ۱۱۹

جدول ۳-۶ سرعت اتلاف انرژی ε در آزمایش‌های انجام شده ۱۲۰

جدول ۳-۷ چگالی ماگمای نمونه‌های ۱ و ۲ بر حسب g/g نمونه اول در دقیقه ۱۵ و نمونه دوم در دقیقه ۳۰ گرفته شده است. ۱۲۵

جدول ۳-۸ نتایج محاسبه سرعت رشد، هسته زایی و کلوخه ای شدن در آزمایش‌های تولید ذرات میکرونی نقره ۱۲۶

جدول ۳-۹ سرعت رشد خطی G_L در آزمایش‌های انجام شده ۱۲۶

جدول ۳-۱۰ سرعت اتلاف انرژی ε در آزمایش‌های انجام شده ۱۲۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ طیف جذب نانوذرات $9\,nm$، $22\,nm$، $48\,nm$ و $99\,nm$ ۲۸

شکل ۱-۲ طیف جذب دو نانومیله با نسبت وجه ۲/۷ و ۳/۳ ۳۰

شکل ۱-۳ طیف جذب نانوذرات مثلثی نقره ۳۲

شکل ۱-۴ عوامل مؤثر بر کریستالیزاسیون ۳۴

شکل ۲-۱ سامانه آزمایشگاهی (۱) کریستالیزور (۲) همزن (۳) ترموستات ۶۸

شکل ۳-۱ عکس TEM نانوذرات نقره. غلظت نیترات نقره $0/0005M$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$. ۸۲

شکل ۳-۲ عکس TEM نانوذرات. غلظت نیترات نقره $0/0005M$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$. ۸۳

شکل ۳-۳ طیف جذب نانوذرات نقره. غلظت نیترات نقره $0/0005M$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$. ۸۴

شکل ۳-۴ عکس‌های TEM نانوذرات مثلثی که از نقاط مختلف گرید گرفته شده است. غلظت نیترات نقره $0/0001M$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$. ۸۶

شکل ۳-۵ عکس‌های TEM نانوذرات مثلثی که از نقاط مختلف گرید گرفته شده است. غلظت نیترات نقره $0/0001M$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$. ۸۷

شکل ۳-۶ طیف جذب نانوذرات در زمان‌های مختلف پس از شروع واکنش. غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۱M$، غلظت هیدرازین $۰/۰۰۲M$، غلظت سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۸۸

شکل ۳-۷ طیف جذب نانوذرات مثلثی پس از سانتریفیوژ. غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۱M$، غلظت هیدرازین $۰/۰۰۲M$، غلظت سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۸۹

شکل ۳-۸ عکس TEM نانوذرات در غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۵M$. غلظت هیدرازین $۰/۰۰۲M$، غلظت سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۹۰

شکل ۳-۹ طیف جذب نانوذرات در محدوده $UV\text{-}vis$ در غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۵M$. غلظت هیدرازین $۰/۰۰۲M$، غلظت سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۹۱

شکل ۳-۱۰ عکس TEM نانوذرات حاصل از ۲ ماه زمان دهی به محلول شکل ۳-۸ . غلظت اولیه نیترات نقره $۰/۰۰۰۵M$، غلظت اولیه هیدرازین $۰/۰۰۲M$، غلظت اولیه سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۹۲

شکل ۳-۱۱ طیف جذب نانوذرات حاصل از ۲ ماه زمان دهی به محلول شکل ۳-۸ . غلظت اولیه نیترات نقره $۰/۰۰۰۵M$، غلظت اولیه هیدرازین $۰/۰۰۲M$، غلظت اولیه سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۹۲

شکل ۳-۱۲ عکس TEM نانوذرات مثلثی در غلظت سیترات سدیم $۰/۰۰۳٤M$. غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۱M$، غلظت هیدرازین $۰/۰۰۲M$. ۹۳

شکل ۳-۱۳ طیف جذب $UV\text{-}vis$ نانوذرات مثلثی در غلظت سیترات سدیم $۰/۰۰۳٤M$. غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۱M$، غلظت هیدرازین $۰/۰۰۲M$. ۹۴

شکل ۳-۱۴ طیف جذب نانوذرات از $pH=۲$ تا $pH=۱۲$ غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۱M$، غلظت سیترات سدیم $۰/۰۳۴M$. ۹۶

شکل ۳-۱۵ عکس TEM نانوذرات در $pH=۱۲$ غلظت نیترات نقره $۰/۰۰۰۱M$، غلظت ۹۷

سیترات سدیم $0/034M$.

شکل ۳-۱۶ اثر افزایش غلظت هیدرازین بر طیف جذب *UV-vis* نانوذرات (a) $0/002M$ ۹۹
(b) $0/003M$ (c) $0/005M$ (d) $0/01M$. غلظت نیترات نقره $0/0001M$، غلظت سیترات سدیم
$0/034M$.

شکل ۳-۱۷ عکس *TEM* نانوذرات در غلظت هیدرازین $0/005M$. غلظت نیترات نقره ۹۹
$0/0001M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$.

شکل ۳-۱۸ قله‌های جذب نانوذرات پس از افزودن Fe^{3+}. غلظت نیترات نقره $0/0001M$، ۱۰۲
غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$.

شکل ۳-۱۹ قله‌های جذب نانوذرات پس از افزودن Fe^{2+}. غلظت نیترات نقره $0/0001M$ ۱۰۲
غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$.

شکل ۳-۲۰ اندازه گیری جذب محلول در $410nm$ پس از شروع واکنش برای تعیین زمان ۱۰٤
تأخیر. فوق اشباع نقره $2/5\times10^{8}$، دما $25^{o}C$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم
$0/034M$.

شکل ۳-۲۱ اثر فوق اشباع نقره بر زمان تأخیر در دمای $25^{o}C$. غلظت هیدرازین $0/002M$، ۱۰۵
غلظت سیترات سدیم $0/034M$.

شکل ۳-۲۲ رسم $\ln t_{ind}$ در مقابل $1/(\ln S)^{2}$. دما $25^{o}C$، غلظت هیدرازین $0/002M$، غلظت ۱۰۶
سیترات سدیم $0/034M$.

شکل ۳-۲۳ رسم $\ln t_{ind}$ در مقابل $\ln S$ برای تعیین توان هسته زایی. دما $25^{o}C$، غلظت ۱۰۶
هیدرازین $0/002M$، غلظت سیترات سدیم $0/034M$.