





دانشگاه لرستان
دانشکده علوم پایه
گروه شیمی

عنوان

طراحی و ساخت حسگرهای نوری جدید به روش سل-ژل
برای اندازه گیری نیکل (II) و کروم (III) در محلول های آبی
بر پایه شناساگرهای سافرانین و ائوزین زردرنگ.

نگارش

علی نبی پور

استاد راهنما

دکتر عبدالله یاری

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته شیمی تجزیه

تیر ماه ۱۳۹۲

همه امتیازات این پایان نامه به دانشگاه لریستان تعلق دارد. در صورت استعاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجلات، کنفرانس ها یا سخنرانی ها، باید دانشگاه لریستان (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم ہے:

پدر نزر کووار

ومادر مہربانم

تقدیر و شکر

خداوند کارا، کفایت در دست توام، مرا می کش، مهل تا پوسم.

خداوند کارا، چندانم مکش اما، که بشکنم.

خداوند کارا، چندانم بکش تا بشکنم، باری چه باک از شکستم.

از خانواده عزیزم که همواره مشوق من در راه علم بوده اند شکر می کنم و از زحمات استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر عبدالسه یاری به خاطر راهنمایی های بی دریغ ایشان در دوران تحصیل و تحقیق و ایجاد انگیزه در تحقق این موفقیت تقدیر و شکر می نمایم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر سعید فرهادی و دکتر ابراهیم مهدی پور که داور و تصحیح پایان نامه اینجانب را به عهده داشته اند شکر و قدردانی می کنم.

از دوستانم همبرنام: علیرضا رستمیان، امین جلدی، یونس حاجی پور، علی شمعلی، قیصر دولتمند، علی اکبر شیری، وحید زری، احمد دانش فر، رسول کلاتر، فرزین رضایی، شمس پیران، احسان الهیاری، بابک فراز مندی، منصور سهوند، علی آذری، مصطفی بنخشان، موسی بشارت، میثم خرم، عباس مسودی، حمید شیرینی پور، محمد بابا عباسی، محمد کرآوند، حسین منطاسی، فیروز بهمنی، فتح اله راشدی، امین امینی، میلاد مسودی، مسعود مرادی، علی رونوف، علی مرتضوی، یحیی تکمر، مریم نوروزی، مینا ابوعلی، مریم حاجیلو و تمامی بچه های شیعی ورودی ۹۰ شکر و قدردانی می نمایم.

با احترام علی نبی پور

تیرماه ۹۲

نام خانوادگی: نبی پور	نام: علی
عنوان پایان نامه: طراحی و ساخت حسگرهای نوری جدید به روش سُل - ژل برای اندازه گیری نیکل (II) و کروم (III) در محلول های آبی بر پایه شناساگرهای سافرانین و اتوزین زرد رنگ	
استاد راهنما: دکتر عبدالله یاری	رشته: شیمی
درجه تحصیلی: استاد	گرایش: تجزیه
استاد مشاور: -	
درجه تحصیلی:	رشته:
محل تحصیل (دانشگاه): لرستان	دانشکده: علوم پایه
گروه آموزشی: شیمی	گرایش:
تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۲/۶/۲۹	تعداد صفحه: ۸۲
کلید واژه ها:	
فارسی: حسگر نوری، اسپکتروفتومتری، سُل - ژل، سافرانین، اتوزین زرد رنگ، نیکل (II)، کروم (III)	
انگلیسی:	
Optical sensor, Spectrophotometry, Sol-Gel, Safranin, Eosin Yelloish, Ni (II), Cr (III)	
چکیده:	
بخش اول:	
<p>مطالعات اولیه اسپکتروسکوپی نشان داده است که ترکیب سافرانین با کاتیون نیکل (II) برهمکنش خوبی داشته که این امر باعث تغییر خواص شیمیایی و در نتیجه تغییر سیگنال های فیزیکی مذکور از جمله تغییر رنگ آن می گردد. لذا با بکارگیری شرایط مناسب از ترکیب فوق با استفاده از روش سُل - ژل حسگر نوری برای اندازه گیری مقادیر این کاتیون در نمونه های حقیقی طراحی و بکار گرفته شد.</p>	

پارامترهای آزمایشگاهی از جمله تتراآتوکسی سیلان، لیگاند، آب، اتانول، اسید (HCl) و تریتون X-100 بهینه شدند. محدوده دینامیکی خطی وسیع از $10^{-1} \times 1/0$ M تا $10^{-6} \times 1/8$ بدست آمد و حد تشخیص برابر با $10^{-6} \times 1/73$ شد. حسگر طراحی شده انتخاب پذیری خوبی برای نیکل (II) در برابر یونهای فلزی متفاوت نشان می دهد و برای اندازه گیری نیکل در نمونه های حقیقی به طور موفقیت آمیز به کار گرفته شد.

بخش دوم:

در این کار فرآیند کمپلکس شدن گزینشی کروم (III) با لیگاند ائوزین زرد رنگ با استفاده از روش اسپکتروفتومتری مطالعه شد. نتایج اسپکتروفتومتری استوکیومتری (۱:۱) را برای (لیگاند/فلز) نشان می دهد. لذا با بکارگیری شرایط مناسب از ترکیب فوق با استفاده از روش سل - ژل حسگر نوری برای اندازه گیری مقادیر این کاتیون در نمونه های حقیقی طراحی و بکار گرفته شد.

پارامترهای آزمایشگاهی از جمله تتراآتوکسی سیلان، لیگاند، تریتون X-100، آب، اسید (HCl) و اتانول بهینه شدند. محدوده دینامیکی خطی از $10^{-1} \times 1/0$ تا $10^{-5} \times 2/7$ بدست آمد و حد تشخیص برابر با $10^{-5} \times 2/64$ شد. حسگر طراحی شده انتخاب پذیری خوبی برای کروم (III) در برابر یونهای فلزی متفاوت نشان می دهد و برای اندازه گیری کروم در نمونه های حقیقی به طور موفقیت آمیز به کار گرفته شد.

فصل اول: مباحث نظری

۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- بررسی خواص حسگرهای نوری
۴	۱-۲-۱- زمان پاسخ
۴	۲-۲-۱- گزینش پذیری
۴	۳-۲-۱- محدوده اندازه گیری
۴	۴-۲-۱- حد تشخیص
۵	۳-۱- سُل- ژل شیشه ای به عنوان بافت پلیمری در حسگرها
۵	۴-۱- شیمی فرآیند سُل- ژل
۵	۱-۴-۱- تاریچچه
۶	۲-۴-۱- مفاهیم اولیه
۷	۱-۲-۴-۱- کلئید
۷	۲-۲-۴-۱- سُل
۷	۳-۲-۴-۱- ژل
۷	۴-۲-۴-۱- ژله شدن
۸	۵-۱- شیمی سُل- ژل
۹	۱-۵-۱- مولکول های پیش برنده
۱۱	۶-۱- مراحل فرآیند سُل- ژل
۱۱	۱-۶-۱- تشکیل سُل اولیه
۱۲	۱-۱-۶-۱- هیدرولیز
۱۶	۲-۱-۶-۱- واکنش های تراکم
۲۲	۲-۶-۱- ژل شدن
۲۲	۳-۶-۱- خشک شدن
۲۳	۴-۶-۱- پیر شدن
۲۳	۵-۶-۱- روش های اعمال دمای بالا
۲۳	۷-۱- روش های تثبیت سازی واکنشگرها
۲۴	۱-۷-۱- تکنیک های اشباع سازی
۲۵	۲-۷-۱- تثبیت شیمیایی به وسیله پیوند کووالانسی
۲۵	۳-۷-۱- دوپینگ شیمیایی
۲۶	۴-۷-۱- کوپلیمریزاسیون واکنشگرهای اصلاح شده
۲۶	۸-۱- مقایسه روش ها

۲۷	۹-۱- تهیه پوشش های مناسب
۲۷	۱-۹-۱- تهیه پوشش ها از طریق فرو بردن در مایع
۲۸	۲-۹-۲- تهیه پوشش های مناسب از طریق چرخش
۲۹	۳-۹-۱- مزایای پوشش دهی سُل - ژل نسبت به دیگر روش های متداول
۲۹	۱۰-۱- کاربردهای تکنولوژی سُل - ژل
۲۹	۱-۱۰-۱- فیلم های محافظ
۲۹	۲-۱۰-۱- ژل های متخلخل و غشاها
۳۰	۳-۱۰-۱- کاربردهای الکترونیکی
۳۱	۴-۱۰-۱- نانو درات و نانو ساختارها
۳۱	۵-۱۰-۱- پودرها، دانه ها و گلوله ها
۳۲	۶-۱۰-۱- حسگرهای شیمیایی بر پایه سُل - ژل
۳۲	۱-۱۰-۶-۱- حسگرهای نوری برای اندازه گیری pH
۳۲	۲-۱۰-۶-۲- حسگرهایی برای ترکیبات یونی
۳۳	۳-۱۰-۶-۳- حسگرهای برای اندازه گیری گازها
۳۳	۱۱-۱- مزایا و معایب فرآیند سُل - ژل

فصل دوم: طراحی و ساخت حسگر نوری به روش سُل - ژل برای اندازه گیری نیکل (II) در محلول های آبی بر پایه شناساگر سافرانین

۴۲	۱-۲- مقدمه
۴۲	۱-۱-۱- نیکل و اهمیت آن
۴۳	۲-۱-۲- سافرانین
۴۴	۲-۲- بخش تجربی
۴۴	۱-۲-۲- معرف ها و مواد شیمیایی
۴۴	۲-۲-۲- ابزارها و دستگاه ها
۴۴	۳-۲-۲- مطالعات اسپکتروفتومتری بر روی لیگاند
۴۶	۱-۳-۲-۲- تعیین نسبت مولی و ثابت تشکیل کمپلکس در محلول
۴۷	۴-۲-۲- تهیه حسگر نوری به روش سُل - ژل
۴۷	۱-۴-۲-۲- طریقه فعال کردن لامل ها
۴۸	۲-۴-۲-۲- تهیه سُل
۴۸	۳-۴-۲-۲- پوشش دادن اسلایدهای شیشه ای
۴۸	۴-۴-۲-۲- فرآیند عمومی
۴۹	۵-۴-۲-۲- بهینه سازی ترکیب سُل
۵۰	۳-۲- بحث و نتایج

۵۰	۲-۳-۱- پاسخ غشاء حسگر نسبت به یون نیکل (II)
۵۳	۲-۳-۲- عملکرد تجزیه‌ای
۵۳	۲-۳-۱- اثر pH
۵۵	۲-۳-۲- برگشت پذیری و تکرارپذیری حسگر
۵۶	۲-۳-۲- گزینش پذیری
۵۷	۲-۳-۴- زمان پاسخ
۵۸	۲-۳-۵- گستره دینامیکی خطی و حد تشخیص حسگر
۵۸	۲-۳-۶- پایداری و طول عمر
۵۹	۲-۳-۷- تجزیه نمونه‌های حقیقی
۵۹	۲-۴- نتیجه گیری

فصل سوم: طراحی و ساخت حسگر نوری به روش سل- ژل برای اندازه‌گیری کروم (III) در محلول‌های آبی بر پایه شناساگر ائوزین زرد رنگ

۶۱	۳-۱- مقدمه
۶۱	۳-۱-۱- کروم و اهمیت آن
۶۲	۳-۱-۲- ائوزین
۶۵	۳-۲- بخش تجربی
۶۵	۳-۲-۱- معرف‌ها و مواد شیمیایی
۶۵	۳-۲-۲- ابزارها و دستگاه‌ها
۶۵	۳-۲-۳- مطالعات اسپکتروسکوپی بر روی لیگاند
۶۷	۳-۲-۱- تعیین نسبت مولی و ثابت تشکیل کمپلکس در محلول
۶۸	۳-۲-۴- تهیه حسگر نوری به روش سل- ژل
۶۸	۳-۲-۱- طریق فعال کردن لامل‌ها
۶۹	۳-۲-۲- تهیه سل
۶۹	۳-۲-۳- پوشش دادن اسلایدهای شیشه‌ای
۶۹	۳-۲-۴- فرآیند عمومی
۶۹	۳-۲-۵- بهینه سازی ترکیب سل
۷۱	۳-۳- نتایج و بحث
۷۱	۳-۳-۱- پاسخ غشاء حسگر نسبت به یون کروم (III)
۷۴	۳-۳-۲- عملکرد تجزیه‌ای
۷۵	۳-۳-۱- اثر pH
۷۶	۳-۳-۲- برگشت پذیری و تکرارپذیری حسگر

۷۷	۳-۳-۲-۳- گزینش پذیری
۷۸	۳-۳-۲-۴- زمان پاسخ
۷۹	۳-۳-۲-۵- گستره دینامیکی خطی و حد تشخیص حسگر
۷۹	۳-۳-۲-۶- پایداری و طول عمر
۸۰	۳-۳-۲-۷- تجزیه نمونه‌های حقیقی
۸۰	۳-۴- نتیجه گیری

فصل اول

۹	شکل (۱-۱): نمایی از تکنولوژی سُل-ژل برای تهیه محصولات مختلف
۱۵	شکل (۱-۲): نمودار اثر pH بر روی سرعت هیدرولیز
۱۹	شکل (۱-۳): نمودار اثرات pH بر روی سیستم کلوئیدی آب-سیلیکا
۲۲	شکل (۱-۴): نمایی شماتیک از زمینه اولیه شبکه ژل در نتیجه واکنش های کاتالیز اسیدی و باز
۲۸	شکل (۱-۵): فرآیند پوشش دار کردن در روش فرو بردن
۲۸	شکل (۱-۶): مراحل فرآیند پوشش دادن در روش پوشش چرخشی

فصل دوم

۴۳	شکل (۲-۱): گیاه زعفران
۴۳	شکل (۲-۲): سافرانین
۴۵	شکل (۲-۳): طیف جذبی تیتراسیون سافرانین با Ni^{2+} در حلال آب
۴۶	شکل (۲-۴): منحنی تعیین نسبت مولی لیگاند / فلز
۴۷	شکل (۲-۵): منحنی برازش برای نقاط تجربی واقع در شکل (۲-۴)
۵۰	شکل (۲-۶): پاسخ غشاء حسگر به یون های Ni^{2+} در محلول آبی
۵۳	شکل (۲-۷): منحنی برازش نقاط تجربی با نقاط تئوری حاصل از معادله (۲-۶)
۵۴	شکل (۲-۸): اثر pH بر روی پاسخ حسگر نوری
۵۵	شکل (۲-۹): برگشت پذیری و تکرار پذیری حسگر نوری در $pH = 6$
۵۶	شکل (۲-۱۰): پاسخ حسگر نسبت به کاتیون های مختلف
۵۷	شکل (۲-۱۱): زمان پاسخ حسگر نوری

فصل سوم

۶۴	شکل (۳-۱): اتوزین زرد رنگ
۶۶	شکل (۳-۲): طیف جذبی تیتراسیون اتوزین زرد رنگ با Cr^{3+} در حلال آب
۶۷	شکل (۳-۳): منحنی تعیین نسبت مولی لیگاند / فلز
۶۸	شکل (۳-۴): منحنی برازش برای نقاط تجربی واقع در شکل (۳-۳)
۷۱	شکل (۳-۵): پاسخ غشاء حسگر به یون های Cr^{3+} در حلال آب
۷۴	شکل (۳-۶): منحنی برازش نقاط تجربی با نقاط تئوری حاصل از معادله (۳-۶)
۷۵	شکل (۳-۷): اثر pH بر روی پاسخ حسگر نوری
۷۶	شکل (۳-۸): برگشت پذیری و تکرار پذیری حسگر نوری در $pH = 7$
۷۷	شکل (۳-۹): پاسخ حسگر نسبت به کاتیون های مختلف
۷۸	شکل (۳-۱۰): زمان پاسخ حسگر نوری

صفحه	عنوان
	فصل اول
۲۶	جدول (۱-۱): مقایسه ویژگی‌های روش‌های مختلف برای قراردادن مولکول‌های حسگر در بافت سیلیکا
	فصل دوم
۴۹	جدول (۲-۱): سُل‌هایی با ترکیب مختلف جهت تهیه غشاء بهینه حسگر نوری
۵۹	جدول (۲-۲): اندازه‌گیری نیکل در نمونه‌های آبی حقیقی به وسیله حسگر مورد نظر
	فصل سوم
۷۰	جدول (۳-۱): سُل‌های با ترکیب مختلف جهت تهیه غشاء بهینه حسگر نوری
۸۰	جدول (۳-۲): اندازه‌گیری کروم در نمونه‌های آبی حقیقی به وسیله حسگر مورد نظر

صفحه	عنوان
	فصل اول
۱۱	شماي (۱-۱): واكنش هاي سُـل - ژل؛ (۱) واكنش هيدرووليز، (۲) واكنش تراكم آبي و (۳) واكنش تراكم الكلي
۱۳	شماي (۲-۱): مكانيسم واكنش هيدرووليز تحت شرايط اسيدى
۱۴	شماي (۳-۱): مكانيسم واكنش هيدرووليز تحت شرايط بازى
۱۷	شماي (۴-۱): مكانيسم تراكم آبي و الكلي
۱۸	شماي (۵-۱): مكانيسم واكنش تراكمى با كاتاليز اسيدى
۱۸	شماي (۶-۱): مكانيسم واكنش تراكمى با كاتاليز بازى
۲۰	شماي (۷-۱): واكنش هاي تراكمى در بالاي نقطه ايزوالكتريك

فصل اول:

مباحث نظری

۱-۱- مقدمه:

حسگرهای شیمیایی^۱ زیادی برای استفاده در صنعت، سیستم‌های بیولوژیکی و ... تولید شده است که روز به روز بر کاربرد و توسعه آنها افزوده می‌شود. حسگرهای شیمیایی گزینه‌های مناسبی در به دست آوردن اطلاعات شیمیایی صحیح و قابل اعتماد هستند، به ویژه در مواردی که نیاز به اندازه‌گیری سریع است و نیز زمانی که بخواهیم چند آنالیت را به طور همزمان اندازه‌گیری کنیم. حسگرهای شیمیایی کمک زیادی در شناسایی و اندازه‌گیری مواد و اجزای سازنده آنها فراهم آورده است. طبق اعلامیه آیوپاک، عبارت حسگر شیمیایی به ابزاری اطلاق می‌شود که اطلاعات شیمیایی را به علائم مفید تبدیل می‌کند [۱].

یک حسگر ایده‌آل باید دارای مشخصات زیر باشد [۲]:

۱- سیگنال خروجی آن متناسب با میزان آنالیت موجود در نمونه باشد.

۲- پاسخ آن سریع باشد.

۳- نسبت سیگنال به نوفه آن خوب باشد.

۴- گزینش‌پذیری و حساسیت بالایی داشته باشد.

حسگرهای نوری^۲ جزو حسگرهای شیمیایی هستند و با نام اُپتد یا اپتروُد^۳ معروف هستند و از سال ۱۹۷۰ توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۳]. اصطلاح اُپتد نشان‌دهنده ترکیب اندازه‌گیری‌های نوری همراه

۱- Chemical Sensors

۲- Optical Sensors

۳- Optrode

با ترتیب و اجرا، مشابه الکتروود می‌باشند، که در آنها اندازه‌گیری‌های شیمیایی و بیوشیمیایی براساس برهم‌کنش نور با یک محیط شیمیایی یا بیوشیمیایی و تبدیل سیگنال‌های نوری به سیگنال‌های الکتریکی صورت می‌گیرد. در سال‌های اخیر نیاز به ساخت حسگرهای شیمیایی برای اندازه‌گیری سریع و اقتصادی نمونه‌های محیطی به ویژه برای یون‌های فلزات سنگین باعث توسعه این حسگرها شده است. این حسگرها مزایایی چون گزینش‌پذیری بالا، ساخت با اندازه کوچک، حد تشخیص پایین، طول عمر بالا و توانایی تولید با قیمت پایین را دارا می‌باشند. از دیگر مزایای این حسگرها این است که مزاحمت الکتریکی در آنها نفوذ ندارد که علت آن هم نداشتن اتصالات الکتریکی است [۵-۳]. یکی از دلایل پیشرفت اُپتد در طول ده سال اخیر، این بوده است که این حسگرها می‌توانند بدون تغییر ساختار شیمیایی نمونه مورد استفاده قرار گیرند [۸-۶]. هم‌اکنون اُپتدها برای اندازه‌گیری شیمیایی و بیوشیمیایی آنالیت‌ها در نمونه‌های محیطی، کنترل فرآیندهای شیمیایی، صنعتی، زیست-فناوری، داروسازی و بسیاری از موارد دیگر، توسعه یافته و به کار گرفته شده‌اند. توسعه موارد جدید و طراحی اُپتد به طور پیوسته‌ای حوزه کاربرد اُپتدها را افزایش داده است. در طراحی حسگرهای نوری، تثبیت عامل ایجاد سیگنال با روش‌های فیزیکی (جذب، سُل-ژل و غیره) و یا روش‌های شیمیایی (پیوند کووالانسی) انجام می‌شود [۹]. پاسخ حسگرهای نوری ممکن است یک پدیده سطحی باشد (حسگرهای نوری سطحی) یا مربوط به تغییرات غلظت در داخل توده فاز مجزا (حسگرهای نوری توده) باشد [۱۱-۱۰]. در هر دو حالت، غشاهای آب دوست و یا فیلم‌های آب‌گریز به عنوان بستر^۱ استفاده می‌شوند. در حسگر نوری سطحی، اغلب گروه تشکیل‌دهنده براساس پلی‌آکریل‌آمید^۲ یا دیگر هیدروژل‌ها می‌باشد که استفاده از مشتقات شناساگرهای قابل حل در آب را امکان‌پذیر می‌سازد. در حالیکه حسگر دوم براساس پلی‌وینیل‌کلرید^۳ یا پلیمرهای مشابه است و گزینش‌پذیری بالایی را در گونه‌های چربی دوست نشان می‌دهد.

۱- Matrix

۲- Poly Acrylamide

۳- Poly vinylchloride

۲-۱- بررسی خواص حسگرهای نوری

۱-۲-۱- زمان پاسخ

زمان پاسخ در حسگر نوری مدت زمان لازمی است که پاسخ حسگر به یک غلظت قطعی از یونی که در حال اندازه گیری است، برسد. مقادیر زمانی پاسخ (t_{95%}) هنگامی است که به ۹۵٪ مقدار نهایی آن می رسد (حالت پایدار) [۱۲].

۱-۲-۲- گزینش پذیری

حسگرهای نوری برای اندازه گیری آنالیت در شرایط تعادلی به کار می روند و گزینش پذیری به اختلاف در قدرت پیوند بین یون های متنوع و یونفورها مربوط می شود. گزینش پذیری شامل ترکیب عامل مناسب با آنالیت است که سیگنال قابل ملاحظه ای ایجاد می شود. این فاکتور دارای معادلات ریاضی طولانی است که انحراف از این معادلات بیان پاسخ را مشکل می کند [۱۳].

۱-۲-۳- محدوده اندازه گیری

محدوده اندازه گیری در حسگرهای نوری شامل دو فعالیت حدی بالا و پایین است. این محدوده به ترکیب غشاء، بار یونی آنالیت (با افزایش بار افزایش می یابد) و همچنین استوکیومتری کمپلکس تشکیل شده در فیلم پلیمری بستگی دارد [۵].

۱-۲-۴- حد تشخیص

هر قدر حد تشخیص پایین تر باشد، برای اندازه گیری نمونه هایی که مقادیر کم دارند مناسب تر می باشد، زیرا امکان استخراج مقادیر کم نمونه را فراهم می آورد. حد تشخیص بالا ناشی از کاهش حساسیت منحنی پاسخ است [۵].

۱-۳- سُل - ژل^۱ شیشه‌ای بعنوان بافت پلیمری در حسگرها

تاکنون پلیمرهای زیادی به عنوان بافت پلیمری حسگر نوری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مواد به عنوان بستر جامد برای تثبیت شناساگرها استفاده می‌شوند و نیز بر نفوذ گزینش‌پذیرگونه‌ها اثر می‌گذارند. مبنای انتخاب یک پلیمر به عنوان بافت پلیمری استاندارد برای حسگر، دمای انتقال شیشه‌ای آن می‌باشد که بایستی پایین‌تر از دمای اتاق باشد [۱۵ - ۱۴].

طی فرآیند سُل - ژل لایه نازک حسگر تشکیل می‌شود. که به عنوان پوششی بر روی فیلم‌های شیشه‌ای ایجاد می‌گردد و این فیلم به عنوان حسگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه شیشه‌های سُل - ژل به دلیل شفافیت نوری، پایداری مکانیکی خوب، خاصیت بی اثر بودن از نظر شیمیایی و نفوذپذیری نسبت به یون‌ها، بافت‌های مناسبی برای تهیه حسگرهای نوری می‌باشند [۱۷ و ۱۶].

مشتقات سُل - ژل را می‌توان در پزشکی [۱۸]، صنایع تولید مواد غذایی [۱۹]، شیمی [۲۰]، ساختار لیزرها [۲۱]، کروماتوگرافی [۲۲]، فرآیندهای کاتالیتیکی [۲۳] و در ساختار میکروآپتدها [۲۴ و ۲۵] به کار برد.

۱-۴- شیمی فرآیند سُل - ژل

۱-۴-۱- تاریخچه

توجه به فرآیند سُل - ژل برای تهیه شیشه‌ها و مواد سرامیکی معدنی از اواسط قرن ۱۹ با مطالعات ابلمن^۲ و گراهام^۳ روی ژل‌های سیلیسی شروع شد [۲۸ - ۲۶]. ابلمن ضمن کار در زمینه تهیه تتراتوکسی سیلان (TEOS) در سال ۱۸۴۶ مشاهده نمود وقتی این ترکیب در معرض رطوبت هوا قرار گیرد، به ماده ژلی شفاف شیشه مانندی تبدیل می‌گردد. به دنبال این پدیده پژوهشگران به هیدرولیز (TEOS) تحت شرایط اسیدی مبادرت ورزیدند و (SiO₂) را به صورت مواد شیشه مانند بدست آوردند. حتی توانستند الیاف نوری و کامپوزیت‌ها را تهیه بکنند. در ابتدا به علت مشکلات خشک کردن، که به مدت یک سال طول می‌کشید، توجه تکنولوژیکی چندانی به آن معطوف نشد. کم توجهی به این فرآیند مدت یک قرن

۱- Sol-Gel

۲- Ebelmen

۳- Graham

ادامه داشت تا اینکه رُی^۱ و همکارانش در سال ۱۹۵۴ امکان تهیه مواد شیمیایی با درجه همگنی بهتر را از ژل‌های کلوئیدی مورد توجه قرار دادند [۲۶ - ۲۷].

روش سُل - ژل در خلال سال‌های ۱۹۶۵ - ۱۹۵۵ میلادی برای سنتز تعداد زیادی از مواد سرامیکی شامل عناصر Al، Si، Zr و غیره که آنها را نمی‌توان به روش قدیمی تهیه نمود، بکار می‌رود. سال‌ها تحقیقات اولیه ایلر^۲ روی شیمی سیلیس منجر به توسعه تجاری پودرهای کلوئیدی از آن شد. استابر^۳ و همکارانش یافته‌های ایلر را توسعه دادند. آنها برای هیدرولیز (TEOS) از آمونیاک به عنوان کاتالیزور استفاده کردند و با کنترل اندازه ذرات توانستند پودر یکنواختی از سیلیس به دست بیاورند که به نام استابر معروف شده است [۲۸]. اندازه نهایی این پودرهای کروی بستگی به غلظت اولیه آب، آمونیاک، نوع آلکوکسیدسیلیسیم، نوع الکل به عنوان حلال و دمای واکنش دارد. در دهه گذشته فرآیند سُل - ژل به رشته تحقیقاتی نسبتاً گسترده‌ای تبدیل شده است. امروزه کاربرد این فرآیند در تهیه پودرها، لایه‌های نازک، ذرات کروی و الیاف سرامیکی انقلابی را در زمینه مواد و سرامیک ایجاد کرده است. در حال حاضر درخواست فراوان برای مواد جدید با درجه خلوص بالا در الکترونیک اهمیت فرآیند سُل - ژل را آشکارتر می‌کند [۲۷].

۱-۴-۲- مفاهیم اولیه

قبل از شرح شیمی سُل - ژل لازم است برخی واژه‌های کلیدی در این فرآیند را مرور کرد.

۱- Roy

۲- Iler

۳- Stober