



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی

(شیمی تجزیه)

عنوان:

ساخت حسگرهای نوری برای اندازه گیری  
آسکوربیک اسید و بیسموت

نگارش:

مهناز فتاحی نیا

استاد راهنما:

دکتر سعادت رستگاریزاده

استاد مشاور :

دکتر ناهید پوررضا

اسفند ۸۸

چکیده‌ی پایان نامه

نام خانوادگی دانشجو: فتاحی نیا	نام: مهناز
عنوان پایان نامه: ساخت حسگرهای نوری برای اندازه گیری آسکوربیک اسید و بیسموت	
استاد راهنما: دکتر سعادت رستگارزاده	
استاد مشاور: دکتر ناهید پوررضا	
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: شیمی
گرایش: شیمی تجزیه	
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشکده: علوم
تاریخ فارغ التحصیلی: اسفند ماه ۱۳۸۸	تعداد صفحه: ۱۱۵
کلیدواژه ها: حسگر نوری، آسکوربیک اسید، بیسموت، متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید، اسپکتروفوتومتری	
<p><b>چکیده:</b></p> <p>در این تحقیق یک حسگر نوری اکسایش-کاهش برای اندازه گیری آسکوربیک اسید طراحی شده است. غشای حسگر از تثبیت متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید بر روی پلیمر تری استیل سلولز ساخته شد. با قرار دادن این غشا در محلول تری یدید و جذب یون تری یدید در آن، رنگ غشا از بی رنگ به زرد تغییر می کند. با کاهش تری یدید در حضور آسکوربیک اسید، رنگ زرد غشا مجدداً به بی رنگ تغییر پیدا می کند. از تغییرات جذب غشا برای اندازه گیری اسپکتروفوتومتری آسکوربیک اسید استفاده می شود. اثر پارامترهای مختلف بررسی شد و شرایط بهینه به دست آمد. جهت برگشت پذیری حسگر محلول <math>0.1 \text{ mol L}^{-1}</math> سود استفاده شد. پاسخ این حسگر در محدوده غلظتی <math>10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \times 5/96 - 10^{-6} \times 1/13</math> از آسکوربیک اسید خطی می باشد. حد تشخیص روش <math>10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \times 1/0.3</math> و انحراف استاندارد نسبی برای ۷ اندازه گیری تکراری در دو غلظت <math>10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \times 5/68</math> و <math>10^{-5} \times 4/54</math> از آسکوربیک اسید به ترتیب ۴/۵۱ و ۱/۵۴ درصد می باشد. از حسگر ساخته شده برای اندازه گیری آسکوربیک اسید در نمونه های آب میوه و قرص ویتامین ث استفاده شد.</p> <p>در تحقیق دیگر یک حسگر شیمیایی نوری برای اندازه گیری بیسموت (III) طراحی شد. غشای حسگر براساس تثبیت متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید بر روی پلیمر تری استیل سلولز ساخته شد. با قرار دادن این غشا در محلول یدید، یون های یدید جذب غشا شده و به جای یون های کلرید روی غشا قرار می گیرند. با فرو بردن غشای حاوی یدید در محلول اسیدی بیسموت (III) رنگ غشا به نارنجی تغییر پیدا می کند. این تغییر رنگ برای اندازه گیری بیسموت به روش اسپکتروفوتومتری استفاده می شود. اثر پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و شرایط بهینه به دست آمد. محلول <math>0.1 \text{ mol L}^{-1}</math> سدیم سیترات جهت برگشت پذیری حسگر استفاده شد. پاسخ این حسگر در محدوده غلظتی <math>10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \times 4/80 - 10^{-6} \times 3/36</math> از بیسموت (III) خطی می باشد. حد تشخیص روش <math>10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \times 1/0.2</math> و انحراف استاندارد نسبی برای ۷ اندازه گیری تکراری در دو غلظت <math>10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \times 9/60</math> و <math>10^{-5} \times 3/84</math> از بیسموت (III) به ترتیب ۳/۷۹ و ۲/۱۴ درصد می باشد. حسگر طراحی شده برای اندازه گیری بیسموت در نمونه های مختلف آب و قرص بیسموت ساب سیترات استفاده شد.</p>	

# فهرست

صفحه

عنوان

## فصل اول / مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ..... ۱
- ۲-۱- حسگر های شیمیایی و انواع آن ها ..... ۲
- ۲-۲-۱- حسگر های شیمیایی نوری ..... ۵
- ۳-۱- دسته بندی حسگر های نوری ..... ۶
- ۱-۳-۱- حسگر های نوری استخری ..... ۷
- ۲-۳-۱- حسگر های نوری غشایی ..... ۸
- ۴-۱- حسگر های نوری یون گزین ..... ۱۰
- ۱-۴-۱- حسگر های نوری جریان پیوسته ..... ۱۱
- ۲-۴-۱- حسگر های نوری هادی موج ..... ۱۳
- ۳-۴-۱- حسگر های نوری صفحه حس کننده ..... ۱۵
- ۴-۴-۱- حسگر های فیبر نوری ..... ۱۷
- ۵-۱- مقایسه حسگر های نوری یون گزین با الکتروود های یون گزین ..... ۱۸
- ۶-۱- اجزای اصلی تشکیل دهنده حسگر های نوری ..... ۱۸
- ۱-۶-۱- بستر پلیمری ..... ۱۹
- ۱-۱-۶-۱- پرکاربردترین بستر های پلیمری بکاررفته در تهیه حسگر های نوری ..... ۲۰
- ۱-۱-۶-۱- سل-ژل ..... ۲۰
- ۲-۱-۶-۱- آگارز ..... ۲۲
- ۳-۱-۶-۱- پلی وینیل کلراید (PVC) ..... ۲۳
- ۴-۱-۶-۱- نافییون ..... ۲۴
- ۵-۱-۶-۱- سلولز ..... ۲۶

- ۲۷-۶-۲- ماده حس کننده ..... ۲۷
- ۲۸-۶-۲-۱- یون دوست ..... ۲۸
- ۲۸-۶-۲-۲- یون دوست رنگی ..... ۲۸
- ۳۰-۱-۷- روش های تثبیت شناساگر بر روی بستر پلیمری ..... ۳۰
- ۳۰-۱-۷-۱- برهم کنش های آب گریز ..... ۳۰
- ۳۱-۱-۷-۲- تبادل یون ..... ۳۱
- ۳۱-۱-۷-۳- تشکیل پیوند کووالانسی ..... ۳۱
- ۳۲-۱-۸- مروری بر تحقیقات انجام شده به منظور تعیین غلظت آسکوربیک اسید با استفاده از حسگر نوری ..... ۳۲
- ۳۴-۱-۹- مروری بر تحقیقات انجام شده به منظور تعیین غلظت بیسموت(III) با استفاده از حسگر نوری ..... ۳۴

## فصل دوم / ساخت یک حسگر نوری اکسایش-کاهش برای اندازه گیری

### آسکوربیک اسید

- ۳۵-۲-۱- مقدمه ..... ۳۵
- ۳۵-۲-۲- آسکوربیک اسید ..... ۳۵
- ۳۷-۲-۳- متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید (Aliquat 336 s) ..... ۳۷
- ۳۸-۲-۴- دستگاه ها و لوازم مورد نیاز ..... ۳۸
- ۳۸-۲-۵- مواد مورد استفاده ..... ۳۸
- ۳۹-۲-۶- تهیه محلول های شیمیایی مورد استفاده ..... ۳۹
- ۳۹-۲-۶-۱- محلول  $5/68 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  آسکوربیک اسید ..... ۳۹
- ۳۹-۲-۶-۲- محلول  $0/1 \text{ mol L}^{-1}$  پتاسیم یدید ..... ۳۹
- ۳۹-۲-۶-۳- محلول  $0/1 \text{ mol L}^{-1}$  پتاسیم یدات ..... ۳۹
- ۳۹-۲-۶-۴- محلول  $0/05 \text{ mol L}^{-1}$  سولفوریک اسید ..... ۳۹
- ۴۰-۲-۶-۵- محلول تری یدید ..... ۴۰
- ۴۰-۲-۶-۶- محلول  $0/1 \text{ mol L}^{-1}$  سود ..... ۴۰
- ۴۰-۲-۶-۷- بافر مک ایلواین با  $\text{pH} = 4/7$  ..... ۴۰

- ۴۱-۷-۲ طرز تهیه غشای حسگر نوری ..... ۴۱
- ۴۱-۸-۲ بررسی طیفی ..... ۴۱
- ۴۲-۹-۲ روش کار ..... ۴۲
- ۴۳-۱۰-۲ بررسی پارامترها و بهینه سازی متغیرهای موثر بر اندازه گیری ..... ۴۳
- ۴۴-۱-۱۰-۲ انتخاب حلال مناسب در تهیه غشا ..... ۴۴
- ۴۴-۲-۱۰-۲ بهینه سازی مقدار متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید ..... ۴۴
- ۴۶-۳-۱۰-۲ بررسی اثر زمان لازم برای نفوذ متیل تری اکتیل آمونیوم در غشای سلولزی، بر روی پاسخ حسگر..... ۴۶
- ۴۷-۴-۱۰-۲ بررسی اثر pH محلول آسکوربیک اسید بر روی پاسخ حسگر ..... ۴۷
- ۴۸-۵-۱۰-۲ بررسی اثر نوع بافر بر روی پاسخ حسگر ..... ۴۸
- ۴۹-۶-۱۰-۲ بررسی اثر حجم بافر بر روی پاسخ حسگر ..... ۴۹
- ۵۱-۷-۱۰-۲ بررسی اثر غلظت یدات در تهیه محلول تری یدید بر روی پاسخ حسگر ..... ۵۱
- ۵۲-۸-۱۰-۲ بررسی اثر غلظت یدید در تهیه محلول تری یدید بر روی پاسخ حسگر ..... ۵۲
- ۵۴-۹-۱۰-۲ بررسی اثر غلظت سولفوریک اسید در تهیه محلول تری یدید بر روی پاسخ حسگر ..... ۵۴
- ۵۵-۱۰-۱۰-۲ بررسی اثر زمان ماندن غشای حسگر در محلول تری یدید بر روی پاسخ حسگر ..... ۵۵
- ۵۷-۱۱-۱۰-۲ بررسی زمان پاسخ حسگر به آسکوربیک اسید ..... ۵۷
- ۵۹-۱۲-۱۰-۲ بررسی برگشت پذیری حسگر ..... ۵۹
- ۶۰-۱۳-۱۰-۲ بررسی اثر غلظت سود بر روی برگشت پذیری حسگر ..... ۶۰
- ۶۱-۱۴-۱۰-۲ بررسی طول عمر حسگر ..... ۶۱
- ۶۲-۱۱-۲ شرایط بهینه ..... ۶۲
- ۶۳-۱۲-۲ منحنی کالیبراسیون ..... ۶۳
- ۶۴-۱۳-۲ ارقام شایستگی ..... ۶۴
- ۶۴-۱-۱۳-۲ محدوده خطی ..... ۶۴
- ۶۵-۲-۱۳-۲ ضریب همبستگی ..... ۶۵
- ۶۵-۳-۱۳-۲ حد تشخیص ..... ۶۵
- ۶۶-۴-۱۳-۲ انحراف استاندارد نسبی روش ..... ۶۶
- ۶۸-۱۴-۲ بررسی اثر مزاحمت گونه های مختلف بر پاسخ حسگر ..... ۶۸
- ۶۹-۱۵-۲ اندازه گیری آسکوربیک اسید در نمونه حقیقی ..... ۶۹

۷۰	..... اندازه گیری آسکوربیک اسید در قرص ویتامین ث
۷۰	..... آماده سازی نمونه
۷۰	..... اندازه گیری آسکوربیک اسید
۷۲	..... اندازه گیری آسکوربیک اسید در نمونه های آب میوه مرکبات
۷۲	..... آماده سازی نمونه
۷۲	..... اندازه گیری آسکوربیک اسید
۷۵	..... نتیجه گیری

### فصل سوم / ساخت یک حسگر نوری برای اندازه گیری بیسموت (III)

۷۷	..... مقدمه
۷۷	..... بیسموت
۷۸	..... متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید (Aliquat 336 s)
۷۸	..... دستگاه ها و لوازم مورد نیاز
۷۹	..... مواد مورد استفاده
۷۹	..... تهیه محلول های شیمیایی مورد استفاده
۷۹	..... محلول $4/8 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ بیسموت (III)
۷۹	..... محلول $0/2 \text{ mol L}^{-1}$ پتاسیم یدید
۸۰	..... محلول $0/2 \text{ mol L}^{-1}$ سولفوریک اسید
۸۰	..... محلول $0/1 \text{ mol L}^{-1}$ سدیم سیترات
۸۰	..... طرز تهیه غشای حسگر نوری
۸۱	..... بررسی طیفی
۸۲	..... روش کار
۸۲	..... بررسی پارامتر ها و بهینه سازی متغیرهای موثر بر اندازه گیری
۸۲	..... انتخاب حلال مناسب در تهیه غشا
۸۳	..... بهینه سازی مقدار متیل تری اکتیل آمونیوم کلرید
۸۴	..... بررسی اثر زمان لازم برای نفوذ متیل تری اکتیل آمونیوم در غشای سلولزی، بر روی پاسخ حسگر

- ۳-۱۰-۴ بررسی اثر غلظت سولفوریک اسید در محلول بیسموت (III) بر روی پاسخ حسگر ..... ۸۵
- ۳-۱۰-۵ بررسی اثر غلظت یدید بر روی پاسخ حسگر ..... ۸۶
- ۳-۱۰-۶ بررسی زمان ماندن حسگر در محلول یدید ..... ۸۸
- ۳-۱۰-۷ بررسی زمان پاسخ حسگر به بیسموت (III) ..... ۸۹
- ۳-۱۰-۸ بررسی اثر غلظت الکترولیت بر روی پاسخ حسگر ..... ۹۰
- ۳-۱۰-۹ بررسی برگشت پذیری حسگر ..... ۹۲
- ۳-۱۰-۱۰ بررسی اثر غلظت سدیم سیترات بر روی برگشت پذیری حسگر ..... ۹۲
- ۳-۱۰-۱۱ بررسی طول عمر حسگر ..... ۹۳
- ۳-۱۱-۱۱ شرایط بهینه ..... ۹۴
- ۳-۱۲-۱۲ منحنی کالیبراسیون ..... ۹۴
- ۳-۱۳-۱۳ ارقام شایستگی ..... ۹۶
- ۳-۱۳-۱-۱۳ محدوده خطی ..... ۹۶
- ۳-۱۳-۲-۱۳ ضریب همبستگی ..... ۹۷
- ۳-۱۳-۳-۱۳ حد تشخیص ..... ۹۷
- ۳-۱۳-۴-۱۳ انحراف استاندارد نسبی روش ..... ۹۸
- ۳-۱۴-۱۴ بررسی اثر مزاحمت کاتیون ها و آنیون ها ..... ۱۰۰
- ۳-۱۵-۱۵ اندازه گیری بیسموت در نمونه حقیقی ..... ۱۰۱
- ۳-۱۵-۱-۱۵ اندازه گیری بیسموت (III) در قرص بیسموت ساب سیترات ..... ۱۰۲
- ۳-۱۵-۱-۱-۱۵ آماده سازی نمونه ..... ۱۰۲
- ۳-۱۵-۲-۱-۱۵ اندازه گیری بیسموت ..... ۱۰۲
- ۳-۱۵-۲-۱۵ اندازه گیری بیسموت (III) در نمونه های آب ..... ۱۰۵
- ۳-۱۵-۲-۱-۱۵ آماده سازی نمونه ..... ۱۰۵
- ۳-۱۵-۲-۲-۱۵ اندازه گیری بیسموت ..... ۱۰۵
- ۳-۱۶-۱۶ نتیجه گیری ..... ۱۰۷
- ۱۰۸ مراجع و منابع ..... ۱۰۸
- ۱۱۲ واژه نامه ..... ۱۱۲

## ۱-۱- مقدمه

شیمیدان ها علاقه دارند به این سوال پاسخ دهند که " محتوای آن چیست؟<sup>۱</sup> ". به اجزای شیمیایی یک ماده که با آنالیز شیمیایی اندازه گیری می شوند آنالیت گفته می شود. تعداد اجزای شیمیایی که با یک روش تجزیه ای تعیین می شوند به دقت و حد تشخیص آن روش بستگی دارد. امروزه در شیمی تجزیه مهمترین تصمیم انتخاب یک روش اختصاصی با توانایی بالا است. حذف اثرات بافت نمونه، گزینش پذیری بالا، کاربرد وسیع و قابلیت اصلاح روش ها یا ابزار ها از دیگر ویژگی های روش کاربردی است. تکنولوژی حسگر می تواند منحصراً مفید و متمایز برای فرایند تجزیه ای عمل کند و با یک عنصر حسگری گزینشی می توان اطمینان حاصل کرد که سیستم حسگری دقیق بوده است [۱].

بنا به تعریف ، حسگر ابزاری است که می تواند به طور پیوسته و برگشت پذیر یک پدیده فیزیکی یا غلظت (فعالیت) یک گونه شیمیایی یا زیست شیمیایی را با استفاده از یک علامت الکتریکی ثبت کند. حسگر ها بر اساس متغیر مورد اندازه گیری به دو دسته تقسیم می شوند:

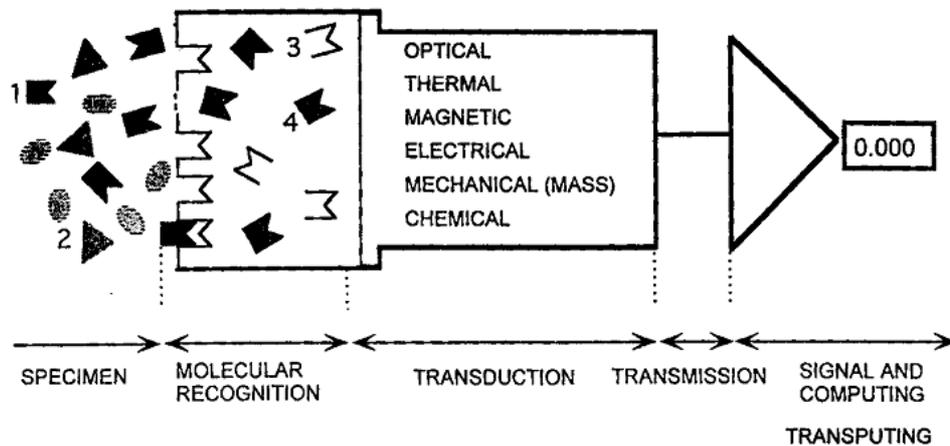
۱- حسگر فیزیکی: وسیله ای است که یک پدیده فیزیکی را ثبت می کند.

۲- حسگر شیمیایی: وسیله ای است که غلظت (فعالیت) یک گونه را در نمونه مورد نظر تعیین می کند.

حسگر های شیمیایی برای آشکارسازی و اندازه گیری گازهایی مثل اکسیژن، دی اکسید کربن و گروهی از گازهای دیگر، و نیز اندازه گیری pH ، گونه های یونی و حلال ها بکار می روند. در اندازه گیری های زیست محیطی نیز برای تعیین آلاینده های مختلف فلزی و غیر فلزی، به میزان زیادی بکار برده شده اند [ ۱،۲].

## ۱-۲- حسگرهای شیمیایی و انواع آن ها

حسگر شیمیایی به عنوان وسیله ای تعریف شده است که اطلاعات شیمیایی را به یک علامت تجزیه ای مفید تبدیل می کند. برای تبدیل اطلاعات شیمیایی از فرایند تشخیص شیمیایی و زیست شیمیایی، قسمت شیمیایی (عنصر تشخیص) به یک مبدل<sup>۱</sup> (عنصر تبدیل) متصل شده است. مبدل باعث انتقال یا تبدیل اطلاعات شیمیایی مربوط به آنالیت، به علائم تجزیه ای قابل اندازه گیری می شود. حسگرها با استفاده از بیش از یک نوع مبدل ساخته می شوند. به طور کلی یک حسگر شیمیایی همان طور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده، از اجزایی شامل عنصر تشخیص، عنصر تبدیل و واحد پردازنده تشکیل شده است [۱].



شکل ۱-۱- نمایش حسگر شیمیایی و اجزای سازنده آن [۱]

یک طبقه بندی از حسگرها بر اساس نوع مبدل است که در جدول ۱-۱ نشان داده شده است [۱].

جدول ۱-۱- طبقه بندی حسگر های شیمیایی بر اساس انواع مبدل بکار رفته

نوع حسگر	نوع مبدل	خواص قابل اندازه گیری
الکتروشیمیایی	پتانسیومتری	ولتاژ
	آمپرومتری	جریان
	ولتامتری	ولتاژ - جریان
	هدایت سنجی	هدایت یون
	ترانزیستور اثر میدانی <sup>۱</sup>	تابع کار <sup>۲</sup>
نوری	جذب	شدت جذب
	بازتاب	انعکاس
	فلورسانس	شدت فلورسانس
	تداخل سنجی	پراکندگی و ضریب شکست
	پراکندگی	
جرمی	جرمی - میکانیکی	فرکانس و جرم
	کریستال پیزوالکتریک	
	سایر ارتعاش های وابسته به جرم و چگالی	
	گرمایی	
حرارتی	کالریمتری	گرمای واکنش

1 - Field Effect Transistors (FETs)

2 - Work function

همچنین حسگرها ممکن است حساس به تغییرات فیزیکی و/یا شیمیایی در فرایند تشخیص باشند که در طبقه بندی دیگری بر اساس نوع فرایند تشخیص تقسیم شده اند که در جدول ۱-۲ نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- طبقه بندی حسگرهای شیمیایی بر اساس نوع فرایند تشخیص

نوع حسگر	فرایند تشخیص
حسگرهای شیمیایی حسی محض <sup>۱</sup>	واکنش های تعادلی، افزایشی، تجمعی، کمپلکس سازی
حسگرهای نیمه رسانای اکسیدی <sup>۲</sup>	جذب، اکسایش، احیا
حسگرهای آنزیمی <sup>۳</sup>	حالت پایا <sup>۴</sup> ، واکنش های سینتیکی
حسگرهای ایمن شیمیایی <sup>۵</sup>	تجمعی
گیرنده ها <sup>۶</sup>	تجمعی

این طبقه بندی بر اساس شناساگرهای گزینش پذیری است که فرایند تشخیص را بر اساس نوع خاصی از واکنش های تعادلی شیمیایی (اسید - باز، تشکیل کمپلکس، اکسید و احیا) انجام می دهند، که می توانند برای شناسایی یون ها و مولکول ها بکار روند [۱].

1 - Chemical sensors in the strict sense

2 - Oxide semiconductor sensors

3 - Enzymatic sensors

4 - Steady state

5 - Immunochemical sensors

6 - Receptrodes

## ۱-۲-۲- حسگر های شیمیایی نوری

کلمه ی OPT(R)ODE شامل دو نام ممکن برای حسگر های نوری است: یکی "اپتروود"<sup>۱</sup> بر پایه ی اسم الکتروود و دیگری "اپتود"<sup>۲</sup> برگرفته از optical یا optics می باشد.

اپتروود ها یا اپتود ها قدمت سی ساله دارند. حسگر های شیمیایی نوری در مقایسه با حسگرهای پتانسیومتری محدود به تشخیص آنالیت های باردار نیستند. برگمن<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۸ اولین نوع از حسگر نوری اکسیژن را بر اساس خاموش شدن فلورسانس شرح داد. تحقیقات او شامل وسیله ای با قابلیت حمل و نقل برای اندازه گیری فشار جزئی اکسیژن اتمسفری بود که بر اساس خاموش شدن لومینسانس عمل می کرد. او این حسگر را از طریق غوطه وری فیلم پلیمری در سیکلوهاگزان حاوی یک رنگ فلورسانس کننده تهیه کرد [۱].

حسگر های نوری یا اپتروودها یک گروه از حسگر های شیمیایی هستند که در آن ها تابش الکترومغناطیس، برای تولید علامت تجزیه ای در قسمت مبدل استفاده شده است. این حسگر ها می توانند بر پایه اصول نوری متنوع شامل جذب، انعکاس، لومینسانس و فلورسانس باشند و نواحی متفاوت طیف را (UV ، Vis ، IR ، NIR ) پوشش دهند؛ و اجازه اندازه گیری نه فقط شدت نور، بلکه خواص نسبی دیگری مثل ضریب شکست، پراکندگی، انکسار و پلاریزاسیون را می دهند [۲،۳].

در زمینه ی حسگر های شیمیایی نوری پیشرفت هایی صورت گرفته است ، به خصوص در:

۱- مبدل ها

۲- فرایند تبدیل و تشخیص شیمیایی

۳- تکنیک های اندازه گیری تجزیه ای

1 - Optrode

2 - Optode

3 - Bergman

به منظور مرتبط کردن علامت نوری به مقدار آنالیت در حسگرها و زیست حسگرهای شیمیایی، فرایند تشخیص گزینش پذیر نسبت به آنالیت، باید برگشت پذیر و قابل بازیابی بوده و نیز یک وسیله برای تبدیل این فرایند به علامت مناسب، ( مثلاً یک علامت نوری در حسگر های نوری) را دارا باشند [۱].

در بیشتر حسگر های نوری ، مبدل های شیمیایی شامل واکنشگر های شیمیایی تثبیت شده در ناحیه حسگری فیبر نوری است که با نشاندن<sup>۱</sup> مستقیم یا با محبوس شدن<sup>۲</sup> در بستر پلیمری قرار می گیرند. انتخاب نگهدارنده ی پلیمری ممکن است بر روی زمان پاسخ و گزینش پذیری حسگر اثر بگذارد و توسط پارامتر هایی مثل پایداری مکانیکی، نفوذپذیری نسبت به آنالیت، و سازگاری برای تثبیت واکنشگر کنترل می شود. واکنشگر حسگری معمولاً یک رنگ شناساگر است که روی یا درون یک بستر مناسب تثبیت شده است. خواص نوری اندازه گیری شده می تواند جذب، انعکاس، فلورسانس و ضریب شکست باشد [۲،۴].

### ۱-۳- دسته بندی حسگر های نوری

در بیشتر حسگر های نوری امکان تغلیظ و اندازه گیری آنالیت بطور همزمان فراهم می شود. بنابراین برای نمایش گونه های سمی موجود در محیط های آبی مناسب هستند. واکنشگر های تثبیت شده درون حسگر مسئول استخراج آنالیت به درون مواد حسگری و تولید یک علامت نوری متناسب با تغییر در غلظت آنالیت هستند [۳].

---

1 - Deposition  
2 - Encapsulation

دو شکل حسگر های نوری که به طور گسترده استفاده می شوند شامل موارد زیر هستند.

۱- حسگر های نوری استخری<sup>۱</sup>

۲- حسگر های نوری غشایی<sup>۲</sup>

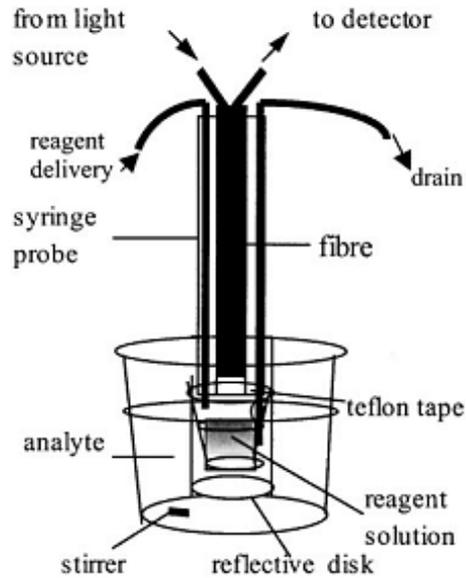
### ۱-۳-۱- حسگر های نوری استخری

در این نوع حسگر های نوری، آنالیت مورد نظر از یک غشا به درون سل شناسایی، نفوذ می کند. این سل حاوی محلول آبی یک شناساگر مناسب است که قابلیت تولید علامت نوری دارد. پارامتر های مهم برای موفقیت این نوع حسگر ها متناسب با غشایی است که امکان انتقال گزینش پذیر آنالیت را از نمونه به سل شناسایی فراهم می کند، و نیز وابسته به نوع واکنشگرهای رنگ زا<sup>۳</sup> یا فلورسانس کننده<sup>۴</sup> برای تشخیص نوری آنالیت، هستند. این نوع حسگر ها به طور موفقیت آمیزی برای اندازه گیری یون های  $Cd^{2+}$  و  $Pb^{2+}$ ،  $Hg^{2+}$  به کار رفته اند [۳].

در شکل ۱-۲ که یک حسگر نوری استخری با واکنشگر تجدید شدنی را نشان می دهد، حسگر نوری استخری به یک سیستم پمپاژ برای آزادسازی واکنشگر از مخزن به استخر، از طریق لوله های موئین با اندازه هایی مشابه فیبر نوری متصل شده است. سیستم پمپاژ واکنشگر توسط یک پمپ سرنگی که می تواند حجم های کم را بطور تکرار پذیر آزاد کند، بهبود یافته است. برای دستیابی به بیشترین حساسیت، حسگر نوری استخری برای هر اندازه گیری در استخر واکنشگر فرو برده می شود و برای مدت زمانی ثابت می ماند تا آنالیت تغلیظ گردد و واکنش به حالت پایا برسد [۵].

---

1 - Pool optode  
2 - Membrane optode  
3 - Chromogenic  
4 - Fluorescent



۲-۱- حسگر نوری استخری بر اساس واکنشگر تجدید شدنی

### ۲-۳-۱- حسگر های نوری غشایی

حسگر های نوری غشایی از تثبیت رنگ های شناساگر، یون دوست<sup>۱</sup> ها ، یون دوست های رنگی<sup>۲</sup> و یون دوست های فلورسانس کننده<sup>۳</sup> روی بستر پلیمری تهیه می شوند [۳]. جنبه های تئوری حسگر های نوری غشایی توسط سیلر<sup>۴</sup> و سیمون<sup>۵</sup> مورد مطالعه قرار گرفت. این غشاها معمولاً شامل یک رنگ شناساگر pH چربی دوست<sup>۶</sup> می باشند که در آن ها جذب ، بازتاب

1 - Ionophore  
 2 - Chromoionophore  
 3 - Fluoroionophore  
 4 - Seiler  
 5 - Simon  
 6 - Lipophilic pH indicator dye

یا فلورسانس برای تبدیل های نوری استفاده شده است. در بعضی موارد غشا شامل یک افزودنی یونی<sup>۱</sup> که سایت های باردار تهیه می کند و نیز یک یون دوست رنگی برای فرایند تشخیص آنالیت است [۶].

در برخی از این نوع حسگرها از چندین یون دوست و رنگ شناساگر pH چربی دوست اختصاصی درون غشا استفاده می شود تا یک سیستم حسگری کاتیونی نوری طراحی شود. شیوه شناساگر pH همچنین برای طراحی غشاهای حسگری نوری آنیونی استفاده می شود [۷].

در بسیاری از پژوهش ها غشاهای حسگر نوری در اتصال با یک رنگ شناساگر به عنوان واکنشگر رنگ زا، برای اندازه گیری یون های فلزی متنوع بکار رفته اند [۶].

غشاهای حسگر نوری یون گزین بر پایه یون دوست خنثی، در اتصال با رنگ های اسیدوکرومیک چربی دوست<sup>۲</sup> به عنوان عنصر مبدل برای اندازه گیری آنالیت بکار می روند. حسگر هایی از این نوع برای اندازه گیری کاتیون هایی مثل کلسیم، سدیم، پتاسیم، آمونیوم، نقره و سرب استفاده شده اند [۸].

حسگر های نوری یون گزین به عنوان یک روش حسگری یونی با گزینش پذیری بالا شناخته شده اند که کمپلکس سازی گزینشی بین یک یون دوست با یون آنالیت را در لایه حسگری شیمیایی نوری شامل می شود. برای تهیه غشای حسگر های نوری یون گزین، یک یون دوست می تواند درون یک غشای چربی دوست مثل غشای پلی وینیل کلراید همراه با یک شناساگر pH چربی دوست قرار گیرد و سپس در تماس با محلول نمونه ی شامل یون هدف، بکار رود. در این مورد مثلاً وقتی یون هدف کاتیون است، استخراج کاتیون هدف باعث می شود شناساگر pH چربی دوست پروتون زدایی<sup>۳</sup> شود تا خنثایی الکتریکی در فاز غشا را حفظ کند. بنابراین بیشتر حسگر های نوری یون گزین،

---

1 - Ionic additive

2 - Lipophilic acidochromic dyes

3 - Deprotonation

این فرایند آزاد سازی پروتون در فاز محلول نمونه را که به محض استخراج کاتیون هدف در فاز غشای چربی دوست اتفاق می افتد، با یک روش اسپکتروسکوپی اندازه می گیرند. این روش ساده اجازه ی ساخت انواع وسایل حسگری نوری را می دهد که قادر به اندازه گیری یون با گزینش پذیری بالا برای اهداف تجزیه ای هستند [۹].

#### ۴-۱- حسگر های نوری یون گزین

حسگر های نوری غشایی یون گزین را بر اساس معیار های متفاوتی تقسیم بندی می کنند. یکی از این دسته بندی ها بر اساس نوع کاربرد های تجزیه ای حسگر می باشد. با توجه به کاربردهای تجزیه ای متفاوت حسگر های نوری، می توان آن ها را به چهار گروه زیر طبقه بندی کرد که در شکل ۱-۳ نشان داده شده اند [۳].

۱- حسگر های نوری جریان پیوسته<sup>۱</sup>

۲- حسگر های نوری هادی موج<sup>۲</sup>

۳- حسگر های نوری صفحه حس کننده<sup>۳</sup>

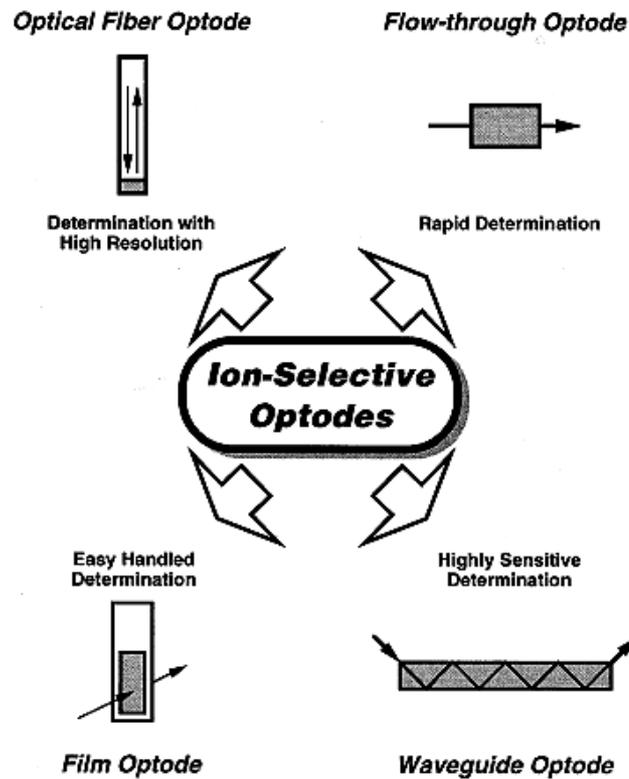
۴- حسگر های فیبر نوری<sup>۴</sup>

1 - Flow through optode

2 - Waveguide optode

3 - Sensing plate optode

4 - Fiber optode



شکل ۱-۳- نمایش تصویری چهار نوع حسگر نوری [۳]

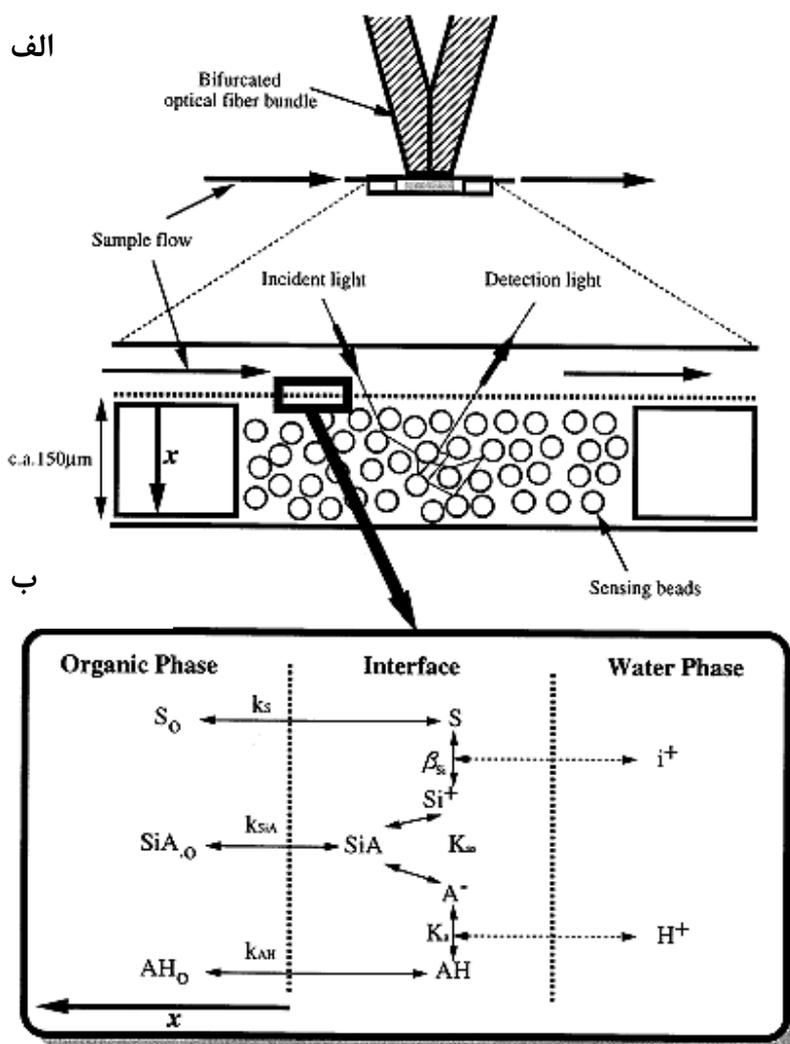
#### ۱-۴-۱- حسگرهای نوری جریان پیوسته

در این نوع حسگرها جریان آنالیت به طور پیوسته از روی بستر حسگر عبور می کند، و در اثر تماس آنالیت با واکنش دهنده مورد نظر بر روی حسگر، تغییراتی در جذب و یا لومینسانس این نوع حسگرها روی می دهد [۱۰].

مکانیسم پاسخ برای یک نمونه از این حسگر نوری در شکل ۱-۴-۱ نشان داده شده است. محلول نمونه داخل سلی که در انتهای یک فیبر نوری دوسر<sup>۱</sup> قرار گرفته، جریان یافته است. در این سیستم

1 - Bifurcated

حسگری، لایه ی حسگری یونی با دانه های اصلاح شده از اکتا دسیل سیلان که با مایع آلی چربی دوست حاوی یون دوست خنثی S و رنگ آنیونی چربی دوست AH پوشیده شده است، تهیه می شود.



شکل ۱-۴- نمایش تصویری: الف- یک حسگر نوری از نوع سل جریان پیوسته ب- استخراج زوج یون از

مرز بین دو فاز آلی و فاز آبی

در مرز بین فاز آلی و فاز آبی، واکنش تعادلی استخراج زوج یون، که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، طبق معادله ۱-۱ اتفاق می افتد.



که S، AH و SiA به ترتیب نمایش دهنده یون دوست خنثی، رنگ آنیونی چربی دوست و گونه زوج یون تولید شده در فاز آلی هستند و  $i^+$  آنالیت یونی است. در این مورد گونه زوج یون تولید شده در SiA در امتداد محور X به فاز آلی نفوذ می کنند. برای سیستم جریان پیوسته ی نشان داده شده در شکل ۴-۱، با در نظر گرفتن نفوذ یون ها به غشا، تعادل استخراج زوج یون بین فاز آبی و فاز آلی، و اصل جذب نوری بر مبنای قانون بیر لامبرت، می توان معادله پاسخ تئوری ۲-۱ را به دست آورد.

$$f(r) = \zeta(v) \frac{(1 - 10^{-A_\lambda(t)})^2}{2 \times 10^{-A_\lambda(t)}} \quad (2-1)$$

$f(r)$  پاسخ تئوری حسگر نوری جریان یون دوست خنثی،  $A_\lambda(t)$  میزان جذب نور در غشا و

$\zeta(v)$  فاکتور نفوذی نمونه است و به صورت  $\zeta(v) = \frac{1}{f(v)}$  تعریف می شود که در آن  $f(v)$  حجم

تزریق شده به سیستم است که به نفوذ بستگی دارد [۹، ۱۰].

### ۱-۴-۲- حسگرهای نوری هادی موج

این دسته از حسگرهای نوری قادر به اندازه گیری هایی با حساسیت بالا هستند که شامل

تعدادی انعکاس در عنصر انعکاس درونی است. در این روش از هادی موج به عنوان محیط