

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تهران

دانشکده علوم

طراحی و ساخت حسگر نوری فلئورسانس برای یون  $Tb^{3+}$  و حسگر

شیمیایی فلئورسانس برای یونهای  $La^{3+}$ ،  $Yb^{3+}$  و  $AcO^-$

نگارش

بهاره ویس محمدی

اساتید راهنما:

دکتر محمدرضا گنجعلی

دکتر پرویز نوروزی

اساتید داور:

دکتر کاظم کارگشا

دکتر حسن سرشتی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی تجزیه

تیرماه ۸۸

## تقدیم به :

حضرت موعود(عج)

و

روح سبزو جاودانه مادرم،

پدر عزیزم؛ که دستان مهربانش پناه دستانم، روشنایی دلش فروغ راهم،

کلامش استواری گامهایم و آرامش وجودم است،

همسر عزیزم که وجود پرمهرش تکیه گاه و حامی من است،

و خواهر مهربانم که سعادت و موفقیت او آرزوی همیشگی من است.

## سپاس و قدردانی

سپاس بیکران خداوند یکتا را که به من فرصتی عطا فرمود تا بخشی از زندگیم را با انسانهایی فرهیخته سپری نمایم و از رهگذر این مصاحبت به بسط بینش مبتنی بر یادگیری ام یاری رسانم.

پس از سپاس بی قیاس از درگاه احدیت، برخود لازم می دانم که به مصداق کلام "من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق" از اساتید فرزانه ای که اینجانب را در مراحل مختلف تحقیق یاری نمودند و در به ثمر رسیدن این اثر سهم داشتند، تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید راهنمای گرانقدر، اساتید فرزانه جناب آقای دکتر گنجعلی و آقای دکتر نوروزی که در طول انجام تحقیقات و نگارش این پایان نامه، بنده را با شفقت و بزرگواری با دانسته های خود یاری نمودند، نهایت سپاس و تشکر را دارم. از اساتید داور آقایان دکتر کارگشا و دکتر سرشتی که این پایان نامه را به دقت مورد نقد و بررسی قرار داده و از نظرات عالمانه ایشان در جهت بهبود و تصحیح آن استفاده نمودم، صمیمانه تشکر میکنم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر حسینی که مراد انجام این پژوهش نوین، بسیار تشویق و یاری نمودند، سپاسگزارم.

از سرکار خانم دکتر فریدبد، که صبورانه به بنده کمک کردند، تشکر مینمایم. از خانواده ی عزیزم که پیوسته یاریگرم بودند و هر لحظه تلاشم با فداکاری آنها میسر گشته، پدر، خواهر و بویژه همسرم که مشغله مراباصبوری تحمل کردند، قدردانی مینمایم.

در پایان بر خود لازم میدانم از همه دوستان خوبم در مرکز عالی الکتروشمی نیز تشکر کنم.

## چکیده

هدف کار تحقیقی حاضر ارائه روشهای نوینی برای شناسایی و اندازه گیری برخی از کاتیونهای نظیر کاتیونهای عناصر لانتانیدی و آنیونی نظیر یون استات، با محاسنی نظیر حساسیت بهتر، انتخابگری بیشتر، کوتاهتر بودن مراحل انجام کار، ارزانتر بودن و... نسبت به روشهای پیشین اندازه گیری است.

این رساله شامل دو بخش تئوری و تجربی میباشد و در مجموع ۶ فصل را در بر میگیرد. در بخش تئوری (فصل اول) به توضیح پیشینه این روش و اصول اجرایی کار پرداخته شده است. بخش تجربی (شامل فصول ۲ تا ۵) نیز در بردارنده ی معرفی دو روش ارائه شده برای اندازه گیری یونها، شامل ساخت حسگر نوری فلئورسانس برای یون  $Tb^{3+}$  (فصل دوم) و ساخت حسگر شیمیایی فلئورسانس برای یونهای  $La^{3+}$  (فصل سوم)،  $Yb^{3+}$  (فصل چهارم) و  $AcO^-$  (فصل پنجم) میباشد. اساس آزمایش های صورت گرفته بر برهمکنش یک لیگاند انتخابگر با یون مورد نظر استوار است، نتایج حاصل از این برهمکنشها با تکنیک هایی نظیر فلئورسانس، UV-Vis و روشهای محاسباتی بررسی شده است.

**کلید واژه:** فلئورسانس، غشا، اپتود، حسگر نوری

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>بخش اول : تئوری حسگرها</b>
	<b>فصل اول: مقدمه و تاریخچه</b>
۲-۱-۱-۱	مقدمه.....
۲-۱-۲-۱	طبقه بندی حسگرهای نوری.....
۱-۲-۱-۱	حسگرهای نوری جریان پیوسته.....
۲-۲-۱-۱	حسگرهای نوری با صفحه حساس.....
۳-۲-۱-۱	حسگرهای فیبر نوری.....
۴-۲-۱-۱	حسگرهای نوری هادی موج.....
۳-۱-۱-۱	تئوری اپتود ها.....
۱-۳-۱-۱	مکانیسم پاسخ.....
۱-۱-۳-۱-۱	حسگرهای نوری برای آنالیت های یونی.....
الف	مبادله ی یون.....
ب	استخراج یون.....
۲-۱-۳-۱-۱	حسگرهای نوری برای آنالیت های بی بار.....
الف	مبادله ی یون و استخراج یون.....
ب	روش مستقیم.....
ج	روش اتصال رقابتی.....
د	روش غیر مستقیم.....
۲-۳-۱-۱	گزینش پذیری.....
۳-۳-۱-۱	حد تشخیص.....

- ۲۲-۱-۳-۳-۱ حد تشخیص پایین..... ۲۲
- ۲-۳-۳-۱ حد تشخیص ناشی از حساسیت پایین با استفاده از نتایج منحنی پاسخ شکل..... ۲۲
- ۳-۳-۳-۱ حد تشخیص بالا..... ۲۴
- ۳-۱-۴-۳-۱ دامنه اندازه گیری..... ۲۴
- ۳-۱-۵-۳-۱ زمان پاسخ..... ۲۷
- ۴-۱-۴-۳-۱ دستگাহوری..... ۲۸
- ۱-۴-۱-۱ روش های تبدیل در حسگر های نوری..... ۲۹
- ۱-۱-۴-۱ جذب..... ۲۹
- ۲-۱-۴-۱-۱ لومینسانس..... ۳۰

### بخش دوم : نتایج تجربی

#### فصل دوم: طراحی و ساخت غشای اپتود انتخابی برای یون تریوم بر پایه‌ی خاموشی فلئوئورسانس ۲- (۵- دی متیل آمینو نفتالن-۱- ایل سولفونیل) -N- ایل هیدرازین کربوتیو آمید

- ۱-۲-۱-۱ مقدمه..... ۳۵
- ۲-۲-۱-۱ بخش تجربی..... ۳۶
- ۱-۲-۲-۱ واکنشگرها..... ۳۶
- ۱-۲-۲-۱-۱ سنتز لیگاند (L)..... ۳۷
- ۲-۲-۲-۱ دستگাহوری..... ۳۸
- ۳-۲-۲-۱ آماده سازی غشا..... ۳۸
- ۴-۲-۲-۱ اندازه گیری فلئوئورسانس..... ۳۹
- ۳-۲-۳-۱ نتایج و بحث..... ۳۹

- ۴۰.....مطالعات اولیه.....۱-۳-۲
- ۴۳.....مکانیسم پاسخ دهی.....۲-۳-۲
- ۴۴.....اصول محاسباتی.....۳-۳-۲
- ۴۶.....اثر ترکیب غشا.....۴-۳-۲
- ۴۷.....اثر PH.....۵-۳-۲
- ۴۹.....دامنه ی اندازه گیری و زمان پاسخدهی دینامیکی.....۶-۳-۲
- ۵۰.....زمان عمر و پایداری کوتاه مدت.....۷-۳-۲
- ۵۱.....بازیابی غشاهای ایتود.....۸-۳-۲
- ۵۲.....انتخابگری.....۹-۳-۲
- ۵۳.....کاربرد های تجزیه ای.....۱۰-۳-۲
- ۵۵.....نتیجه گیری.....۴-۲

### **فصل سوم: طراحی و ساخت یک حسگر نسبتی فلئورسانس با انتخاب گری بالا نسبت به یون $La(III)$ بر پایه ی یک شیفت باز جدید**

- ۵۸.....مقدمه.....۱-۳
- ۵۹.....بخش تجربی.....۲-۳
- ۵۹.....واکنشگرها.....۱-۲-۳
- ۶۱.....دستگاهوری.....۲-۲-۳
- ۶۱.....بحث و نتیجه گیری.....۳-۳

### **فصل چهارم: طراحی و ساخت حسگر $Yb^{3+}$ -گزین فلئورسانسی نسبت سنج جدید بر پایه ی $N'$ - (۱) - اکسواسنافیلن - ۲ - (H-۱) - ایلیدین) فوران - ۲ - کربوهیدرازید به عنوان فلوروفور**

- ۶۹.....مقدمه.....۱-۴



۷۱	۲-۴-بخش تجربی.....
۷۱	۱-۲-۴-واکنشگر ها.....
۷۱	۲-۲-۴-دستگاهوری.....
۷۲	۳-۴-نتایج و بحث.....
۷۲	۱-۳-۴-مطالعات اولیه.....
۷۴	۲-۳-۴-تیتراسیون فلئورسانس.....
۷۷	۳-۳-۴-انتخابگری.....
۷۹	۴-۴-نتیجه گیری.....

## **فصل پنجم: شناسایی انتخابی یون استات ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) بر پایه‌ی حسگر شیمیایی افزایشی فلئورسانس**

۸۱	۱-۵-مقدمه.....
۸۲	۲-۵-بخش تجربی.....
۸۲	۱-۲-۵-واکنشگر ها.....
۸۳	۱-۱-۲-۵-آماده‌سازی $\text{UO}_2(\text{salophen})\text{L}$ .....
۸۳	۲-۲-۵-دستگاهوری.....
۸۴	۳-۵-نتایج و بحث.....
۸۴	۱-۳-۵-تیتراسیون UV-Vis.....
۸۵	۲-۳-۵-تیتراسیون فلئورسانس.....
۸۶	۳-۳-۵-ارزیابی انتخابگری.....
۸۸	۴-۵-نتیجه گیری.....
۹۰	<b>فصل ششم:مراجع</b> .....

## **فهرست جداول**

- جدول ۱-۱: دامنه ی اندازه گیری [  $\Delta(\log \alpha)$  ] ایتود ها بر مبنای حامل های خنثی ... ۲۵
- جدول ۱-۲: بهینه سازی ترکیب غشا..... ۴۶
- جدول ۲-۲: مزاحمت یونهای فلزی مختلف ( $M^{+2}$   $10^{-4}$  M) به اندازه گیری فلوتورسانس یون ( $M^{+2}$   $10^{-6}$  M) با حسگر غشایی مذکور در  $pH=3/7$  ..... ۵۲
- جدول ۲-۳: بازیابی یونهای  $Tb^{3+}$  از مخلوط با استفاده از ایتود یون-گزین تریوم ... ۵۳
- جدول ۲-۴: اندازه گیری یون  $Tb^{3+}$  در نمونه های آب لوله کشی و آب رودخانه با استفاده از ایتود پیشنهادی ..... ۵۴
- جدول ۲-۵: اندازه گیری یون تریوم در نمونه های سنگ فسفاتی ..... ۵۵
- جدول ۳-۱: ثابت های تشکیل کمپلکس های  $L_M^{n+}$  ..... ۶۴
- جدول ۴-۱: ثابت تشکیل کمپلکسهای  $L_M^{n+}$  ..... ۷۵
- جدول ۵-۱: تداخل یونهای فلزی مختلف در اندازه گیری فلوتورسانس یون استات با حسگر پیشنهادی..... ۸۷

## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: دو نوع از ایتودهای توده‌ای..... ۶
- شکل ۱-۲: تعادل بین نمونه و غشای ایتود توده ای که شامل کروم‌یونوفور خنثی (C) که به  $H^+$  گزینش پذیر است. یون دوست خنثی (L)، مکان آنیونی ( $R^-$ ) و یون دوست ( $L^-$ ) میباشد..... ۷
- شکل ۱-۳: چهار نوع ایتود یون-گزین ..... ۸
- شکل ۱-۴: شمای ایتود با صفحه ی حساس به یون ..... ۱۰
- شکل ۱-۵: منحنی پاسخ ایتود با اندازه ی  $3\mu m$  بر اساس مشتق فلورسین و  $C_{14} - DTM_{16}C_5$  ..... ۱۱
- شکل ۱-۶: دو نوع هادی موج ، (A): ایتود هادی موج معمولی، (B): ایتود هادی موج اصلاح‌شده..... ۱۲
- شکل ۱-۷: حالت‌های مختلف مبادله ی کاتیون در ایتود ها..... ۱۳
- شکل ۱-۸: انواع حالت‌های استخراج یون در ایتود های آنیونی ..... ۱۵
- شکل ۱-۹: تابع پاسخ ایتود انتخابی به  $Pb^{2+}$  و یون‌های مختلف بعنوان مزاحم ..... ۲۱
- شکل ۱-۱۰: اثر PH بر روی تابع پاسخ ایتود که نسبت به  $I^+$  یون اولیه و  $Z^+$  بعنوان یون‌های مزاحم ..... ۲۲
- شکل ۱-۱۱: تعاریف مختلف برای حد تشخیص پایین ایتود..... ۲۳
- شکل ۱-۱۲: منحنی زمان پاسخ برای یک ایتود یون -گزین نقره در محلول‌های مختلفی از  $AgNO_3$  (بافر: استات منیزیم،  $PH=4/7$ )..... ۲۸
- شکل ۱-۱۳: مکانیسم خاموش سازی..... ۳۱
- شکل ۱-۲: ساختار لیگاند (L)..... ۳۷
- شکل ۲-۲: منحنی نسبت مولی فلورئورسانس در محلول استونیتریل برای یون‌های لانتانیدی..... ۴۰
- شکل ۲-۳: ساختار بهینه شده ی لیگاند (L) آزاد (A) و کمپلکس ۱:۱ آن با یون  $Tb^{3+}$  (B) ..... ۴۲
- شکل ۲-۴: طیف‌های برانگیختگی (Ex) و نشری (Em) ایتود نوری تریبوم-گزین در حضور غلظت های مختلف از یون  $Tb^{3+}$  ..... ۴۴

- شکل ۲-۵: اثر PH محلول آزمایشی بر روی پاسخ نوری حسگر یون-گزین  
 تریبوم (A) در غیاب و (B) در حضور محلول  $1.0 \times 10^{-4} M$   $Tb^{3+}$  ..... ۴۵
- شکل ۲-۶: شدت فلئورسانس نسبی در برابر  $pTb^{3+}$  ..... ۴۹
- شکل ۲-۷: پاسخ دینامیکی حسگر غشایی فلئورسانس پیشنهادی نسبت به تغییرات  
 پله ای غلظت  $Tb^{3+}$  ..... ۵۰
- شکل ۳-۱: ساختار شیمیایی ترکیب L ..... ۶۰
- شکل ۳-۲: تغییر در طیفهای UV-vis لیگاند  $(1.0 \times 10^{-6} M)$  در اثر افزایش  
 $La^{3+}$   $(1.0 \times 10^{-3} M)$  به محلول  $CH_3CN$  ..... ۶۱
- شکل ۳-۳: اثر غلظت  $(1.0 \times 10^{-4} M)$   $La^{3+}$  بر روی طیف فلئورسانس پذیرنده  
 ی  $(2 ml CH_3CN)$ ،  $L(5.0 \times 10^{-6} M)$  ..... ۶۲
- شکل ۳-۴: منحنی نسبت شدت فلئورسانس در  
 $338 nm$  و  $290 nm$  ( $FI_{290}/FI_{338}$ ) بر حسب غلظت  $La^{3+}$  در  $CH_3CN$  ..... ۶۳
- شکل ۳-۵: (a) پاسخ نسبت سنج فلئورسانس (M) در برابر افزایش کاتیونها  $(50 \mu M)$  ،  
 $(\lambda_{ex}=305 nm)$  و (b) پاسخ نسبت سنج فلئورسانس  $(2 ml 1.0 \times 10^{-6} M)$  (L) حاوی  
 $La(III)$   $30 Mm$  و کاتیونهای زمینه  $(30 Mm)$ ،  $(\lambda_{ex}=305 nm)$ ،  $(2 ml)$  (L)  $(1.0 \times 10^{-6})$  ..... ۶۵
- شکل ۴-۱: ساختار لیگاند (L) ..... ۷۱
- شکل ۴-۲: پاسخ رنگی پذیرنده ی L در  $(4.0 \times 10^{-6} M)$   $CH_3CN$  در اثر افزایش  
 کاتیونها  $(4.0 \times 10^{-4} M)$  در  $CH_3CN$  ..... ۷۳
- شکل ۴-۳: تغییرات در طیف UV-vis لیگاند  $(5.0 \times 10^{-6} M)$  در اثر افزایش  
 $CH_3CN$  در  $Yb^{3+}$  از  $(1.0 \times 10^{-2} M)$  ..... ۷۳
- شکل ۴-۴: طیفهای برانگیختگی (Ex) و نثری (Em) مربوط به  $L(5.0 \times 10^{-6} M)$  در  
 $CH_3CN$  در حضور غلظتهای افزایشی از  $(1.0 \times 10^{-4} M)$   $Yb^{3+}$  ..... ۷۶
- شکل ۴-۵: پاسخ های نسبت سنج فلئورسانس  $(3 ml 1 \times 10^{-6} M)$  L در اثر افزایش  
 کاتیون ها  $(\lambda_{ex}: 367 nm)$   $(50 \mu M)$  ..... ۷۷
- شکل ۴-۶: پاسخ های نسبت سنج فلئورسانس  $(3 ml 1 \times 10^{-6} M)$  L حاوی  $30 \mu M$   
 از  $Yb^{3+}$  و کاتیونهای زمینه  $(120 \mu M)$   $(\lambda_{ex}: 367 nm)$  ..... ۷۸
- شکل ۵-۱: ساختار لیگاند L ..... ۸۲

شکل ۵-۲: تغییرات در طیف های UV-Vis مربوط به  $(5 \times 10^{-6} \text{ mol/L})$  L در اثر افزایش محلول  $(1 \times 10^{-3} \text{ M})$   $\text{AcO}^-$  به محلول استونیتریل ..... ۸۴

شکل ۵-۳: تیتراسیون L با  $\text{AcO}^-$  در محلول استونیتریل،  $[\text{AcO}^-] = 5 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$  و  $[\text{L}] = 5 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$  ..... ۸۵

# **بخش اول**

## **تئوری حسگرها**

## **فصل اول**

### **مقدمه و تاریخچه**

یک حسگر به طور کلی، ابزاری است که می‌تواند غلظت (فعالیت) و یا یک پارامتر فیزیکی از یک گونه‌ی شیمیایی یا زیست شیمیایی را به طور پیوسته و برگشت‌پذیر اندازه‌گیری نماید. حسگری که یک پارامتر فیزیکی را اندازه‌گیری می‌کند، مانند یک دماسنج جیوه‌ای، حسگر فیزیکی نامیده می‌شود. حسگر شیمیایی، مانند یک الکتروود شیشه‌ی pH، غلظت (یا فعالیت) یک گونه را در نمونه‌ی موردنظر اندازه می‌گیرد.

یکی از اصلی‌ترین طبقه‌بندی حسگرها، براساس برهم‌کنش ترکیباتی به نام یون دوست<sup>۱</sup> با یون‌ها می‌باشد. یون دوست‌ها می‌توانند هم از ترکیبات مواد آلی و هم از مواد معدنی انتخاب شوند. از میان حسگرهای براساس یون دوستی، حسگرهای پتانسیومتری و نوری (براساس جذب و فلئوئورسانس) توسعه و کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند. پیش از این از روش‌های مختلفی مانند فتومتری، رنگ‌سنجی و یا آزمون لکه‌ای<sup>۲</sup> برای شناسایی کیفی گونه‌های شیمیایی استفاده می‌شد. اما از آن‌جا که این آزمون‌ها بر مبنای واکنش‌های رنگ‌زایی برگشت‌ناپذیر استوارند، کاربرد آن‌ها در سیستم‌های حسگر برگشت‌پذیر محدود شده است.

در حسگرهای نوری از آن‌جا که رنگ‌های شناساگر به ویژه رنگ شناساگر pH می‌توانند به طور کووالانسی به تکیه‌گاه‌های جامدی نظیر سلولز، شیشه و پلاستیک متصل شوند، امکان شسته‌شدن رنگ به وسیله‌ی نمونه از بین می‌رود. علاوه بر این حذف مراحل تهیه‌ی نمونه، تنظیم زمان، افزایش واکنشگر و یا حتی رقیق‌کردن نمونه در این روش، باعث ایجاد ویژگی‌های منحصر به فردی در این روش شده است و موجب گسترش روش‌های نوری در زمینه‌های گوناگون شیمی تجزیه شده است. به حسگرهای شیمیایی نوری اپتود<sup>۳</sup> یا اپتروود<sup>۴</sup> نیز می‌گویند. این واژه ترکیبی از دو واژه‌ی زیر می‌باشد:

Optical + Electrode = optode (optrode)

<sup>۱</sup> - ionophore

<sup>۲</sup> - spot tests

<sup>۳</sup> - optode

<sup>۴</sup> - optrode



این واژه تاکید می‌کند که در عمل و کاربرد حسگرهای نوری بسیار شبیه به الکترودها هستند در حالیکه در اصول کاری کاملاً متفاوتند.

یک حسگر نوری شامل اجزاء زیر می‌باشد:

۱- غشا پلیمری در بردارنده‌ی یک یونوفور<sup>۱</sup> که از مایعی با ویسکوزیته‌ی بالا و غیرقابل امتزاج با آب تشکیل یافته است. این غشا به فعالیت یون مورد نظر پاسخ می‌دهد.

۲- عنصر تشخیص یا یونوفور که به طور گزینش‌پذیر با آنالیت واکنش می‌دهد و آن را شناسایی می‌کند.

۳- مبدل سیگنال که می‌تواند فرآیند تشخیص را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری که عمدتاً الکتریکی یا نوری است، تبدیل کند.

۴- واحد پردازنده که پس از تقویت سیگنال اولیه، آن را به واحدهای کاربردی نظیر pH، گرم بر واحد حجم و .. تبدیل می‌کند.

به طور معمول با استفاده از فاکتورهای حساسیت، گزینش‌پذیری، پایداری، تکرارپذیری، طول عمر و محدوده‌ی پاسخ می‌توان عملکرد یک حسگر را مورد ارزیابی قرار داد. حساسیت فاکتوری وابسته به یونوفور و مبدل است که با بالابردن نسبت سیگنال به نویز (S/N) می‌توان باعث افزایش آن و لذا کاهش حد تشخیص شد. گزینش‌پذیری مقیاسی است از توانایی یک حسگر در ایجاد تمایز بین آنالیت و گونه‌های مشابه، که این فاکتور وابسته به ثابت تشکیل کمپلکس این یون‌ها یا یونوفورها در فاز غشاء می‌باشد. مقاومت حسگر در محیط‌های شیمیایی مخرب و کار در دماها یا فشارهای بالا و همین‌طور حفظ پایداری در بلندمدت، پارامترهای مهم دیگری برای حسگرها هستند. علاوه بر این، امکان کاربرد مجدد آن‌ها که بوسیله‌ی برگشت‌پذیری فرآیند تشخیص تعیین می‌شود، در استفاده‌ی عملی از حسگرها، از اهمیت زیادی برخوردار است.

حدود یک دهه از ابداع روش حسگرهای وزنی یون‌گزین به عنوان ابزار مفیدی در شیمی تجزیه می‌گذرد.

---

<sup>۱</sup> -ionophore

اساس فرآیند حسگری نوری (انتخابگری یون)، تشکیل کمپلکس بسیار انتخابی و برگشت پذیر، بین یونوفور و یون مورد نظر است. یونفورها اساساً عوامل کمپلکس کننده‌ی آب گریزی<sup>۱</sup> هستند که انتقال یون را به غشاهای آب گریز کاتالیز می‌کنند. یونفورها هم به صورت خنثی و هم باردار وجود دارند. نمونه‌ای از یونفورهای خنثی، آنتی بیوتیک‌ها بودند که در غشاء الکترودهای یون گزین استفاده شده اند [۱] و [۲].

معمولاً حسگرهای نوری، علاوه بر یونوفور گزینش پذیر، حلال غشاء و PVC دارای یک یون مخالف آب گریز و یک یونوفور دوم نیز می‌باشند که به طور ویژه با یون آنالیت بر هم کنش داده و تشکیل کمپلکس می‌دهند که موجب تغییر در ویژگی نوری غشاء می‌گردد. به این گونه یونفورها، کرومویونوفور<sup>۲</sup> [۳] یا فلورویونوفور<sup>۳</sup> [۴] می‌گویند.

معمولاً از یک شناساگر pH آب گریز به عنوان کرومویونوفور استفاده می‌شود. درجه‌ی پروتونه شدن و تغییر رنگ شناساگر بستگی به یون‌های رقابت کننده با  $H^+$  دارد. این نوع حسگرهای نوری که از سال ۱۹۸۰ توسعه پیدا کردند، به عنوان ایتود توده‌ای (شکل ۱-۱)، شناخته شده‌اند. این نام به این حقیقت که آنالیت به داخل سطح توده فیلم غشا استخراج می‌شود، اشاره می‌کند.

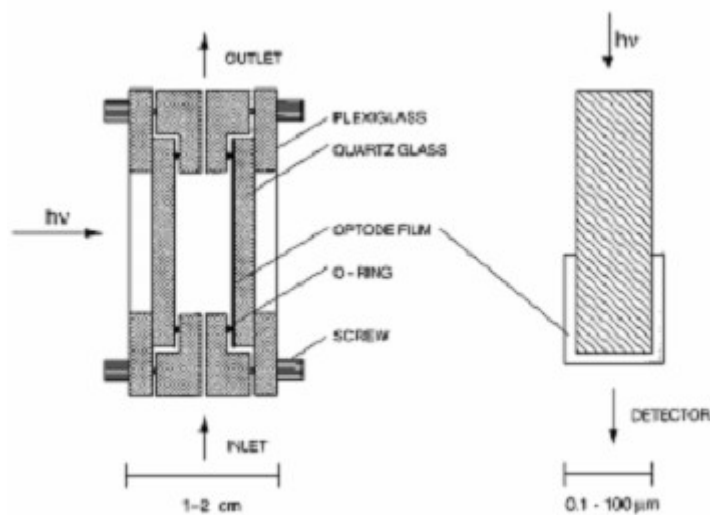
نخستین حسگر نوری، حسگر pH است که سال ۱۹۸۰ توسط Peterson و همکارانش [۵] برای کاربردهای فیزیولوژیکی درون بدن ساخته شد. این حسگر بر اساس جذب قرمز فنل که به طور کووالانسی به سطح پلی اکریل آمید اتصال یافته، کار می‌کرد [۶].

---

<sup>۱</sup> -Lipophil

<sup>۲</sup> - Chromoionophore

<sup>۳</sup> - Fluoroionophore



شکل ۱-۱: دو نوع از اپتوهای توده‌ای

## ۱-۲- طبقه‌بندی حسگرهای نوری

مبنای تقسیم‌بندی حسگرهای نوری می‌تواند براساس پارامترهای مختلفی نظیر نوع یون دوست (خنثی و یا باردار)، نوع مبدل و نگهدارنده غشا و نوع هدف تجزیه‌ای باشد که در اینجا ما به این تقسیم‌بندی‌ها اشاره می‌کنیم.

در یک تقسیم‌بندی کلی، حسگرهای نوری به دو نوع حسگرهای نوری مبتنی بر فیبر نوری و هادی‌های موج<sup>۱</sup> مسطح تقسیم می‌شوند. در هادی‌های موج مسطح، از فیلم نازکی با ضخامت چندین میکرومتر که بر روی یک نگهدارنده (شیشه، استات سلولز و ...) قرار گرفته است، استفاده می‌شود. این فیلم‌ها می‌توانند به وسیله‌ی قالب‌ریزی Spin-coating، ترسیب بخار<sup>۲</sup> و یا نفوذ سطحی بر روی تکیه‌گاه ایجاد شوند.

حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری، به حسگرهای بیرونی و درونی تقسیم‌بندی می‌شوند. در حسگرهای بیرونی<sup>۳</sup>، که در آن‌ها فیبر نوری صرفاً به عنوان یک اتصال

<sup>۱</sup> - waveguide

<sup>۲</sup> - vapor deposition

<sup>۳</sup> - Extrinsic sensors

هدایت‌کننده نور بین محل اندازه‌گیری، منبع تابش و دستگاه نمایشگر عمل می‌کند. در حسگرهای درونی<sup>۱</sup>، فیبر نوری، در یک شکل اصلاح شده بعنوان یک مبدل حس‌کننده عمل می‌نماید.

تقسیم‌بندی دیگر براساس یونوفور به کار رفته در حسگر می‌باشد شکل زیر(شکل ۲-۱)) انواع حسگرها بر پایه‌ی به کارگیری یونوفور را نشان می‌دهد [۶].

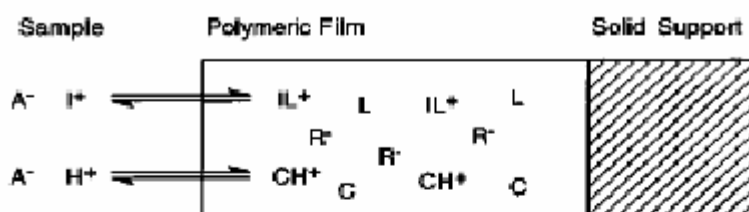
۱- حسگر بدون یونوفور که به صورت تعویض یونی با کرومویونوفور کار می‌کند.

۲- حسگر بر پایه‌ی یونوفور که خود به دو دسته تقسیم می‌شود:

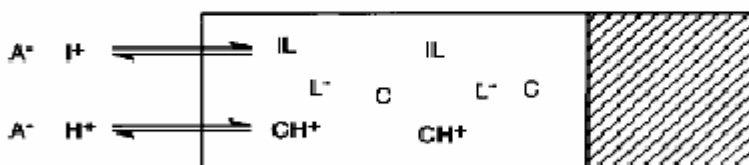
الف) یونوفور باردار

ب) یونوفور خنثی

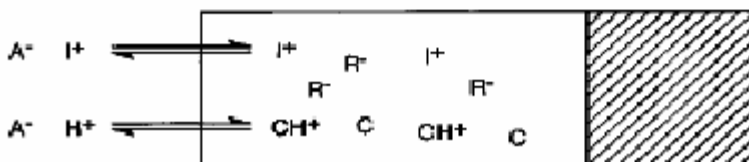
#### Neutral Carrier-Based Ion-Selective Optode



#### Charged Carrier-Based Ion-Selective Optode



#### Ion-Exchanger-Based Ion-Selective Optode



شکل ۲-۱: تعادل بین نمونه و غشای ایتود توده ای که شامل کرومویونوفور خنثی (C) که به  $H^+$  گزینش پذیر است، یون دوست خنثی (L)، مکان آنیونی ( $R^-$ ) و یون دوست ( $L^-$ ) میباشد.

<sup>۱</sup> - Internal sensors