



## کاربرد نانوسورها در روش رنگ سنجی و شناسایی سریع آلاینده ها

ابوالفضل قائدی<sup>۱</sup>، طاهره روحانی بسطامی<sup>۱\*</sup>، طاهره حیدری<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فناوری های نوین قوچان

۲- گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

با توجه به اثرات مخرب برخی از آلاینده ها بر روی انسان، استفاده از روش ها و دستگاه های دقیق و معتبر جهت شناسایی این مواد ضروری می باشد. در این مقاله به بررسی روش رنگ سنجی با استفاده از نانوسورها پرداخته ایم که در مقایسه با روش های شناسایی مرسوم به دلیل مزایایی از قبیل کم هزینه بودن و تشخیص سریع با چشم غیر مسلح جایگاه ویژه ای در شناسایی پیدا کرده است و در مقایسه با دیگر روش ها کاربردی تر می باشد. نانوسورهای مورد استفاده در این روش به دو دسته نانوساختارهای برچسب دار و بدون برچسب تقسیم بندی می شوند که هر کدام مزایای خاص خود را دارند. در انتها نیز دستگاه های قابل حمل در روش رنگ سنجی از جمله تلفن همراه و نانوسورهای کاغذی معرفی شده اند که علاوه بر حمل و نقل آسان، شناسایی را برای افراد غیر متخصص نیز امکان پذیر کرده است.

واژه های کلیدی: روش رنگ سنجی، نانوسور، آلاینده ها

ایمیل نویسنده مسئول: [t.rohani@qiet.ac.ir](mailto:t.rohani@qiet.ac.ir)

### ۱- مقدمه

در سال های اخیر افزایش برخی از آلاینده ها و سموم سلامت انسان را به طور جدی به خطر انداخته است. برخی از این سموم مانند ریسین<sup>۱</sup> یک پروتئین بسیار سمی است و از دانه های کرچک جدا می شود. ورود ۲۲ میکروگرم از این پروتئین به خون باعث مرگ شده و شناسایی آن با روش های کنونی بسیار وقت گیر و گاهی غیرممکن می باشد [۱]. همچنین، میزان بیش از حد برخی از داروها و آنتی بیوتیک ها در بدن انسان مانند سم عمل کرده و اثرات مضر بر روی کلیه و مجاری ادراری دارد و موجب سرطان زایی، تشنج، فشار خون بالا، افزایش چربی کبد و تورم پاها می شود. به تازگی مصرف دسته ای از مواد مخدر از جمله روان گردان ها نیز با مداخله در عملکرد طبیعی مغز باعث تغییرات در حافظه، رفتار و فیزیولوژی عصبی می شود و تعاملات مضربین مواد با داروهای دیگر می تواند منجر به سندروم سرتونین شود [۲] و شناسایی آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. غالباً نمونه واقعی در مخلوط های پیچیده ای است که فرایند تشخیص مواد شیمیایی به ویژه برای مقدار کم نمونه را با مشکل روبرو می کند. برای مثال می توان به شناسایی مواد روان گردان در بزاق، خون، و یا ادرار اشاره کرد. از روش های شناسایی کنونی آلاینده ها می توان به کروماتوگرافی مایع<sup>۲</sup> و کروماتوگرافی گاز<sup>۳</sup>، طیف سنجی جرمی<sup>۴</sup>

کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا<sup>۵</sup>، کیت های ایمونواسی<sup>۶</sup> [۳] و یا روش های ترکیبی مانند کروماتوگرافی مایع-طیف سنجی جرم<sup>۷</sup> [۴] و کروماتوگرافی گازی-طیف سنجی جرم اشاره کرد. این روش ها اگرچه در برخی موارد حد تشخیص خوبی دارند ولی در عین حال با توجه به گرانی دستگاه ها و نیاز به پرسنل با تجربه و کارآموده برای استفاده از آنها و نیز زمان طولانی تر برای انجام آزمایش، در بسیاری از آزمایشگاه ها در دسترس نمی باشند [۵]. به تازگی روش رنگ سنجی با استفاده از نانوسورها به دلیل مزایایی از قبیل آماده سازی آسان نمونه، کم هزینه بودن و تشخیص سریع با چشم غیر مسلح جایگاه ویژه ای در شناسایی مواد شیمیایی، بیولوژیکی و مواد مخدر پیدا کرده است و مشکلات فوق را برطرف می نماید [۶] که قادر به تشخیص همزمان چند نوع آلاینده به صورت همزمان نیز می باشد.

### ۲. رنگ سنجی

روش تغییر رنگ جهت تشخیص مواد که در سال های اخیر طرفداران زیادی پیدا کرده است در مقایسه با دیگر تکنیک ها کاربردی تر بوده و بر اساس تغییر در خواص نوری نانو ذرات با توجه به تجمع آنها، انتقال بار و واکنش های شیمیایی سطح و سپس تغییر رنگ آن ها همراه می باشد. دو نکته در روش رنگ سنجی حائز اهمیت است و بر عملکرد در انتخاب پذیری،

<sup>1</sup> Ricin

<sup>2</sup> Liquid chromatography

<sup>3</sup> Gas chromatography

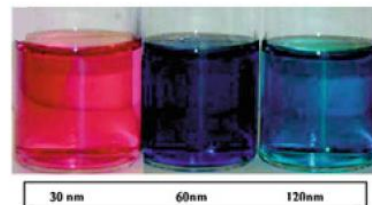
<sup>4</sup> Mass Spectrometry

<sup>5</sup> High performance liquid chromatography

<sup>6</sup> Immunoassay kits

<sup>7</sup> Liquid chromatography-mass spectrometry

حساسیت، زمان پاسخ و نسبت سیگنال به نویز اثرگذار است. یکی شناسایی هدف که پاسخی انتخابی نسبت به آنالیت ایجاد می کند و مربوط به طیف گسترده ای از لیگاند ها و واکنش های آبی و بیولوژیکی است، و دیگری که رفتار تشخیص را نسبت به چشم حساس و در محدوده ۳۹۰-۷۵۰ nm قابل مشاهده می سازد. نانو ساختارهای فلزات گرانبها از جمله طلا و نقره به دلیل خواص منحصر به فرد نوری و الکترونیکی خود توجه زیادی به خود جلب کرده اند [۷]. خواص نوری منحصر به فرد این نانوذرات نه تنها موجب تشخیص بهتر، بلکه حساسیت این نانوحسگرها را نیز بالا برده که موجب شناسایی هر چه بهتر آنالیت می شوند. ضرایب انقراض مولی این نانومواد در مقایسه با کروموفورها یا رنگ های آبی بالاتر از ۳ تا ۵ مرتبه در ناحیه قابل رویت می باشد که این خواص عمدتاً ناشی از تحریک جمعی الکترون های نوار رسانش به علت رزونانس پلاسمون سطحی آن ها است [۸]. برای مثال ضرایب انقراض مولی نانو ذرات طلا با قطرهای ۱۳ nm و ۵۰ nm به ترتیب برابر با  $2/7 \times 10^8 M^{-1}cm^{-1}$  و  $1/5 \times 10^{11} M^{-1}cm^{-1}$  در ۵۲۰ nm است [۹]. همچنین ذرات ناهمسانگرد باعث ایجاد حالت های متفاوتی از رزونانس پلاسمون سطحی (SPR) می شوند که این فرکانس با تغییر اندازه، شکل، ترکیب مواد و محیط دی الکتریک تغییر می کند و در نتیجه موجب تغییرات قابل مشاهده در رنگ می شود [۱۰]. این نانو ذرات با اندازه های مختلف تولید رنگ های مختلف با باندهای جذب متفاوت می کنند. نانوذرات طلا دارای دو باند جذب قوی در منطقه قابل رویت است و رنگ آن ها بستگی به تغییر نسبت طول به قطر آن ها دارد [۱۱]. ذرات کروی کوچک تولید باند جذب شدید با توجه به تحریک رزونانس پلاسمون دو قطبی (DPR) می کنند. نانو ذرات طلا در محدوده اندازه ۱۰ nm حداکثر جذب را در ۵۲۰ nm با توجه به رزونانس پلاسمون سطحی خود نشان می دهند [۱۲]. همچنین باند جذب نانو میله های طلا و نقره با افزایش ابعاد به سمت طول موج های بلندتر کشیده می شود و همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود با افزایش طول لبه، محلول نانو میله های نقره از قرمز به آبی تغییر رنگ داده است [۱۳].



شکل ۱. افزایش طول نانو میله های نقره و تغییر رنگ آن از قرمز به آبی [۱۳]

ترکیبات مختلف نانو ذرات طلا و نقره می تواند باعث تغییر فرکانس رزونانس پلاسمون سطحی و تغییرات قابل مشاهده در رنگ شود [۱۴]. همچنین این فرکانس نسبت به نزدیکی و مجاورت

<sup>10</sup> Chelatin

<sup>11</sup> Chen

<sup>12</sup> Cao

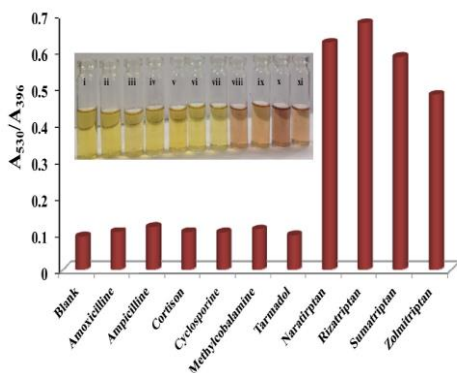
<sup>13</sup> Lu

<sup>8</sup> Surface plasmon resonance

<sup>9</sup> Dipole plasmon resonance

دارو از خانواده تریپتان شدند و حد تشخیص را به  $7/3 \text{ nM}$  ای  $4 \text{ nM}$  طی مدت زمان  $3/5$  دقیقه رساندند. در این واکنش مولکول‌های سیترات بر روی سطح نقره بار منفی ایجاد می‌کنند، درحالی‌که گروه‌های آمین از چهار داروی تریپتان دارای بار مثبت می‌باشند، در نتیجه اثر متقابل الکترواستاتیک قوی بین سطوح نانو ذرات نقره و داروها منجر به تجمع نانو ذرات، تغییر موقعیت پیک و تغییر رنگ محلول از زرد به قهوه ای می‌شود.

اکثر روش‌های رنگ سنجی فقط در pH خاصی تجمع مواد با نانو ذرات منجر به تغییر رنگ می‌شود. لذا کنترل pH بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از آنجا که نمونه واقعی در ماتریکس پیچیده ای از ترکیبات دیگر قرار دارد لذا انتخاب پذیری روش از اهمیت بالایی برخوردار است که برای آزمون انتخاب پذیری معمولاً از نمونه‌هایی با ساختار مشابه نمونه اصلی استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید جهت آزمون انتخاب پذیری داروهای مختلف از جمله: آموکس سیلین، کورتیزون، سیکلوسپورین، متیل کلامین و همچنین داروهای مشابه با تریپتان مانند: اسیدفولیک، ایندپامید، و آلفوزین به محلول نقره-سیترات اضافه شد که مشخص گردید فقط در حضور ۴ داروی موردنظر تغییر موقعیت پیک و تغییر رنگ داریم [۲۵].



شکل ۲. تغییر رنگ بصری نقره -سیترات در حضور داروهای مختلف [۲۵]

تشخیص رنگ آرژنین، هیستیدین و لیزین را با استفاده از نانو ذرات طلا- کورستین<sup>۲۵</sup> در سال ۲۰۱۴ توسط راوات<sup>۲۶</sup> و همکاران انجام گرفت. این سه اسیدآمینه مورد نیاز برای بدن انسان و به خصوص نوزادان می‌باشد. در اینجا کورستین با فرمول مولکولی  $C_{15}H_{10}O_7$  نه تنها باعث کاهش نانوذرات طلا می‌شود بلکه با دارا بودن پیوند  $C=O$  اتصال خوبی را با نانوذرات طلا برقرار نموده که به نوبه خود به کنترل اندازه نانوذرات و ایجاد رنگ کمک می‌کند. آزمایشات بر روی نمونه ادرار از سه زن و سه مرد با استفاده از محلول QC-Au تغییر رنگ از قرمز به خاکستری را فقط در pH بین صفر تا ۲ نشان داده است [۲۶].

<sup>25</sup> Quercetin-gold  
<sup>26</sup> Rawat

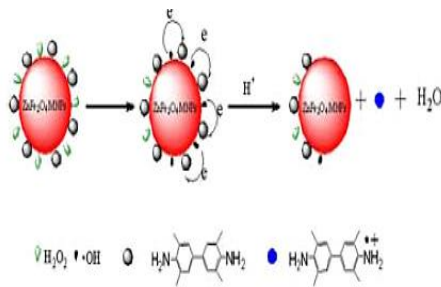
موجب بی ثباتی و تجمع نانوذرات می‌شوند. به عنوان مثال ویلنر<sup>۱۴</sup> و همکاران یک سیستم ساده و سریع برای تشخیص یون جیوه با استفاده از نانوذرات طلا ( $13 \text{ nm}$ ) غنی از اسیدنوکلئیک ابداع کردند [۱۹]. در ابتدا و قبل از افزودن یون های جیوه، نانوذرات پراکندگی بسیار خوبی نشان می‌دهند. اما پس از اضافه کردن یونهای  $Hg^{2+}$ ، این یون ها با ایجاد اندرکنش قوی با اسیدهای نوکلئیک و جدا کردن آن ها از سطح موجب تجمع نانوذرات و تغییر رنگ محلول به آبی می‌شوند. نانوسنسورهای مورد استفاده در روش رنگ سنجی به دو دسته نانو ساختارهای برچسب دار<sup>۱۵</sup> و بدون برچسب<sup>۱۶</sup> تقسیم بندی می‌شوند [۲۰].

## ۱-۲: نانوذرات برچسب دار

عامل دار کردن نانوذرات و یا به اصطلاح برچسب زدن آن ها برای استفاده به عنوان سنسور تشخیص رنگ با هدف حساسیت و انتخاب پذیری بالا صورت می‌گیرد. در این میان نانو ذرات فلزات نجیب اعم از طلا و نقره به دلیل خواص ذاتی خود از قبیل ضریب خاموشی بالا و تغییر مشخص در رنگ بر اساس تجمع آن‌ها با آنالیت، بیشتر مورد توجه قرار دارند که می‌توانند تغییر رنگ با چشم غیرمسلح را امکان پذیر و همچنین گونه‌های هدف را در نمونه‌های پیچیده ردیابی کنند [۲۱]. نانو ذرات نقره عامل دار شده با مواد آلی مختلف از جمله: الیگونوکلئوتیدها<sup>۱۷</sup>، ۴،۴- پی پیریدین<sup>۱۸</sup> و پی-نیتروآنیلین دی تیوکربومات<sup>۱۹</sup> برای تشخیص مولکول‌های آلی مختلف (آفت‌کش‌ها، اسیدهای آمینه و DNA) استفاده می‌شود و تغییر رنگ آن با توجه به تعامل با داروهای مختلف از زرد به قرمز، آبی یا سبز است [۲۲]. نانوذرات طلا نیز اغلب توسط کاهش اسید کلروآئوریک<sup>۲۰</sup> با سدیم سیترات به‌عنوان عامل کاهنده تولید می‌شود که اولین بار توسط گروه ترکویچ<sup>۲۱</sup> در سال ۱۹۵۱ ابداع شد [۲۳]. سپس عامل دار کردن این نانوذرات با مولکول‌های آلی و شیمیایی مختلف برای سنجش مولکول‌های زیستی و دیگر مواد، مورد بررسی قرار گرفت [۷]. توانایی سنجش رنگ این نانوذرات به شدت تحت تاثیر اندازه و مورفولوژی ذرات می‌باشد. وانگ<sup>۲۲</sup> و همکاران از نانو ساختارهای زیرکونیم- پلی اکسو متالات<sup>۲۳</sup> جهت تشخیص  $H_2O_2$  استفاده کردند. زمان واکنش اکسیداسیون TMB ۹۰ دقیقه گزارش شد که پاسخ سریعی جهت تشخیص نمی‌باشد [۲۴]. لالیوالا<sup>۲۴</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با استفاده از نقره سیترات موفق به تشخیص همزمان ۴

<sup>14</sup> Willner  
<sup>15</sup> Labeled  
<sup>16</sup> Label-free  
<sup>17</sup> Oligonucleotide  
<sup>18</sup> 4,4-bipyridine  
<sup>19</sup> P-nitroaniline dithiocarbamate  
<sup>20</sup> Chloroauric acid  
<sup>21</sup> Turkevich  
<sup>22</sup> Wang  
<sup>23</sup> Zirconium-Polyoxometalate  
<sup>24</sup> Laliwala

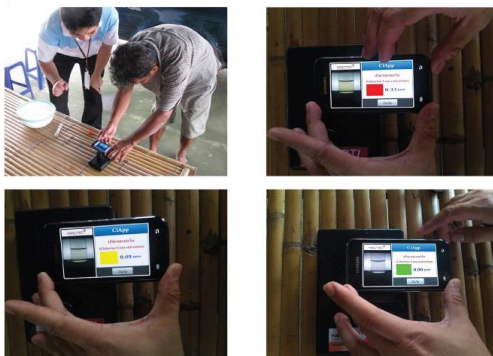
## ۲-۲: نانوذرات بدون برچسب



شکل ۳. مکانیسم احتمالی برای سیستم  $TMB+H_2O_2 + ZnFe_2O_4$  [۲۹]

### ۳. استفاده از دستگاه‌های قابل حمل در تشخیص مواد:

در روش رنگ سنجی از دستگاه‌های در دسترس و ارزان قیمت مانند دوربین دیجیتال، تلفن‌های همراه و اسکنر می‌توان جهت آنالیز و شناسایی استفاده نمود. در این روش با استفاده از نرم افزار فتوشاپ، یکی از فاکتورهای مربوط به شدت رنگ که بهترین حالت را دارد انتخاب نموده و نمودار کالیبراسیون را به گونه‌ای رسم کرده که امکان تشخیص و اندازه‌گیری غلظت‌های معین از آنالیت برای افراد غیر متخصص هم امکان پذیر گردد [۳۰]. تلفن همراه هوشمند یک تلفن همراه است که با یک دوربین رنگی مجهز شده است. سارون<sup>۲۹</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ با استفاده از این تلفن همراه موفق به شناسایی کلر در آب شدند. نظارت بر کلر باقیمانده در آب را می‌توان به سادگی از طریق کالریتری انجام داد. در اینجا از پتاسیم یدید<sup>۳۰</sup> استفاده شده است که با کلر موجود در آب واکنش داده و تغییر رنگ حاصل می‌گردد و با تلفن همراه هوشمند تشخیص داده می‌شود. پس از تغییر رنگ آب، برای سهولت کار یک هشداردهنده بر روی تلفن قرار گرفته و همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید دارای یک منطق زرد برای تعیین غلظت کلر بین ۰٫۳ ppm تا ۰٫۰۶ ppm و سبز زیر ۰٫۰۶ ppm و قرمز بیش از ۰٫۳ ppm می‌باشد و تشخیص رنگ به آسانی انجام می‌گیرد [۳۱].



شکل ۴. تصویر ایجاد شده بر روی تلفن همراه [۳۱]

در مقایسه با نانوذرات برچسب دار، بدون برچسب‌ها از جذابیت بیشتر و زمان موثرتری جهت تشخیص برخوردار می‌باشند. در این حالت از خود نانوذره بدون گروه عاملی برای شناسایی استفاده می‌شود به این ترتیب که با تغییر لیگاند یک جابجایی بین فلز و گونه مورد تشخیص، تغییر رنگ حاصل می‌گردد. به عنوان مثال: نانو ذرات CoS با فعالیت پراکسیداز جهت تشخیص پراکسید هیدروژن و یون جیوه توسط یانگ<sup>۲۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت. آنزیم‌های طبیعی به صورت گسترده بیش از ۲۰۰ سال در بیوشیمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما به دلایلی مانند بی‌ثباتی، آماده‌سازی سخت، تصفیه و ذخیره‌سازی گران کاربرد چندانی ندارند. در سال‌های اخیر تلاش زیادی برای تولید نانو ذرات با فعالیت پراکسیداز شبیه آنزیم‌های طبیعی شده است که در مقایسه با آنزیم‌های طبیعی باثبات‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر می‌باشند. نانو ذرات مختلفی از جمله اکسید فلزاتی مانند:  $CeO_2$ ،  $Pt$ ،  $Ag$ ،  $Au$ ،  $Co_3O_4$ ،  $MnO_2$ ،  $CuO$ ،  $V_2O_5$ ،  $Au$ ،  $Pt$ ، مواد بر پایه کربن مانند: اکسید گرافن، نانولوله‌های کربنی و نانوذرات کربنی، دوفلزی‌ها مانند:  $ZnFe_2O_4$ ،  $CoFe_2O_4$  و  $FeWO_4$  فعالیت پراکسیداز مانند ذاتی از خود نشان داده‌اند. در این میان نانو ساختارهای سولفید فلزی مانند:  $CuS$  و  $CdS$ ،  $FeS$  به دلیل خواص نوری و الکترونی بسیار عالی مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. در اینجا از CoS برای تشخیص و تعیین رنگ از پراکسید هیدروژن و یون جیوه استفاده شده است. پس از اضافه کردن CoS به  $H_2O_2+TMB$  یک تغییر رنگ آبی روشن و جذب قوی در  $652\text{ nm}$  مشاهده می‌گردد. در صورتی که در سیستم‌های  $TMB+CoS$  و  $CoS+H_2O_2$  تغییر رنگ و جذبی مشاهده نمی‌شود و سیستم  $H_2O_2+TMB$  یک تغییر رنگ به آبی روشن دارد ولی جذب بسیار ضعیفی را  $652\text{ nm}$  با طیف UV-Vis نشان می‌دهد [۲۷]. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده از نانو ذرات  $Fe_3O_4$  موفق به تشخیص تتراسایکلین با حساسیت و انتخاب پذیری بسیار بالا شدند. این نانو ذرات با واکنش فنتون باعث تولید رادیکال‌های پرانرژی هیدروکسید از پراکسید هیدروژن می‌شود که این رادیکال‌ها باعث اکسیداسیون TMB و تغییر رنگ می‌شود. حداکثر جذب  $0.5 \frac{mg}{ml}$  در  $652\text{ nm}$  با طیف UV-Vis هست. برای آزمون انتخابی این روش آنتی‌بیوتیک‌های مختلف از جمله سولفات کانامایسین، پنی‌سیلین و سولفات استرپتومایسین مورد ارزیابی قرار گرفت که مشاهده گردید یک تغییر قابل توجه در جذب تتراسایکلین وجود دارد [۲۸]. گلوکز با استفاده از نانو ذرات  $ZnFe_2O_4$  توسط فنگ<sup>۲۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۲ مورد شناسایی قرار گرفت. برای اکسید گلوکز از آنزیم گلوکز اکسیداز در pH خنثی استفاده شده که موجب تغییر گلوکز به پراکسید هیدروژن می‌شود و حد تشخیص  $3 \times 10^{-7} \frac{mol}{Lit}$  می‌باشد. تغییر رنگ با چشم غیرمسلح قابل مشاهده شده است [۲۹]. در شکل ۳ مکانیسم این روش ارائه شده است.





[9] W. Chansuvarn, T. Tuntulani, A. Imyim, Trends Analyt, Chem. 65, 83-96, (2015).

[10] J. Becker, I. Zins, A. Jakab, Y. Khalavka, Nano Lett, 8.17, 19-1723, (2008).

[11] S. Link, M.A. El-Sayed, J. Phys. Chem. B, 103, 8410-8426, (1999).

[12] NE. Motl, AF. Smith, CG. DeSantisa, SE. Skrabalak, Chem Soc Rev, 43.11, 3823-3834, (2014).

[13] AK. Singh, D. Senapati, A. Neely, G. Kolawole, C. Hawker, Chem Phys Lett, 481, 94-98, (2009).

[14] G. Park, C. Lee, D. Seo, H. Song, Langmuir, 28.24, 9003-9009, (2012).

[15] H. Wei, E. Wang, Analytical Chemistry, 80.6, 2250-2254, (2008).

[16] L. Chen, TT. Lou, CW. Yu, Q. Kang, LX, Chen, Analyst, 136.22, 4770-4773, (2011).

[17] R. Cao, B.Li, Y. Zhang, Z. Zhang, Chem Commun, 47, 12301-12303, (2011).

[18] K. Ai, Y. Liu, L. Lu, J Am Chem Soc, 131, 9496-9497, (2009).

[19] D. Li, A. Wieckowska, I. Willner, Angew Chem Int Ed, 120, 3991-3995, (2008).

[20] Y. Ding, S. Wang, Li. Jinhua, L. Chen, 82, 175-190, (2016).

[21] A. Ravindran, P. Chandran, S. Sudheer Khan, advances and prospects, Colloids Surf, B: Biointerfaces, 105, 342 352, (2013).

[22] C. Han, H. Li, Analyst, 135, 583-588, (2010).

[23] J. Turkevich, PC. Stevenson, J. Hillier, Discuss Faraday Soc, 11, 55-75, (1951).

[24] D. Li, H. Han, Y. Wang, X. Wang, Y. Li and E. Wang Eur, J. Inorg, Chem, 10.11, 1926-1934, (2013).

[25] H. Yang, W. Liang, N. He, Y. Deng, and Zhiyang, ACS applied materials & interfaces, 7.1, 774-781, (2014).

[26] A. Karuna, Rawat & Suresh Kumar Kailasa, Microchimica Acta, 181, 1917-1929, (2014).

[27] H. Yang, J. Zha, P. Zhang, Y. Xiong, SU. Linjing and Ye. Fanggui, RSC Advances, 6.71, 66963-66970, (2016).

[28] Y. Wang, Y. Suna, H. Daia, Lu. Wangdong, Li. Zhen, Li. Zhuang, Sensors and Actuators B: Chemical, 236, 621-626, (2016).

[29] L. Su, J. Feng, X. Zhou, C. Ren, H. Li, X. Chen, Chem, 84, 5753-5758, (2012).

[30] Ch. Wang, JW. Hennek, A. Ainla, AA. Kumar, W. Lan, B. Smith, M. Zhao, GM. Whitesides, Analytical Chemistry, 88, 6326-6333, (2016).

[31] S. Sumriddetchkajorna, K. Chaitavonb, Y. Intaravanne, Sensors and Actuators B. Chemical, 191, 561-566, (2014).

[32] Zh. Han, H. Liu, J. Meng, L. Yang, L. Jing, and L. Jinhuai, Analytical chemistry, 87.18, 9500-9506, (2015).

از دیگر دستگاه های قابل حمل می توان به نانوسنسورهای کاغذی اشاره کرد. نانوسنسورهای کاغذی با توجه به ویژگی های منحصر به فرد خود از جمله آماده سازی آسان، کم هزینه بودن، حمل و نقل آسان، خواص مکانیکی مناسب، تشخیص در دمایی محیط (برخلاف سنسورهای CTL<sup>31</sup>)، ارائه سریع نتایج (معمولا از چند ثانیه تا چند دقیقه) ، سازگاری زیستی و تجزیه پذیر بودن یک روش انقلابی در تجزیه و تحلیل و شناسایی مواد مخدر ایجاد کرده است. این سنسورها می-توانند در تکنیک های مختلف سنجش رنگ از جمله رنگ سنجی، فلورسنت، طیف UV-Vis و SERS برای سهولت در کار مورد استفاده قرار بگیرد. استفاده از این سنسورها که به عنوان ظرف واکنش ما عمل می کند علاوه بر مزیت های ذکر شده باعث مصرف مقدار بسیار اندکی از نمونه و نانوذرات می شود. به عنوان مثال، هان<sup>32</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از این کیت ها و نانو میله های طلا موفق به شناسایی آمفتامین با حد تشخیص ۰,۱ PPM شدند [۳۲].

#### ۴. نتیجه گیری

روش رنگ سنجی به دلیل مزایایی از قبیل آماده سازی آسان نمونه، تشخیص همزمان چند دارو، کم هزینه بودن و تشخیص سریع با چشم غیر مسلح جایگاه ویژه ای در شناسایی مواد مخدر و دیگر آلاینده ها پیدا کرده است که می توان با استفاده از نانوساختارهای مختلف، شناسایی را با حساسیت و انتخاب پذیری بالایی انجام داد. در این میان نانوساختارهای طلا و نقره به دلیل خواص منحصر به فرد نوری و الکترونیکی خود نامزدهای خوبی برای طراحی سنسورهای رنگ سنجی می باشند که موجب تشخیص هر چه بهتر از آنالیت می شوند.

#### ۵. منابع

[1] H. Jingting, N. Pengjuan, D. Haichao, S. Yujing, W. Yilin, J. Shu Jiang, and L. Zhuang, RSC Advances, 5.21, 16036-16041, (2015).

[2] K. Firas, H. Tarek, N. Amaly, et al c, Translational proteomics, 3, 38-52, (2014).

[3] V. Maslarska, J.Tencheva, Int. J. Pharm. Pharm. Sci, 5.2, 417-419, (2013).

[4] T. Gicquel, J. Aubert, S. Lepage, B. Fromenty, I. Morel, J. Anal. Journal of analytical toxicology, 37.2, 110-116, (2013).

[5] J. Qian, X.W. Yang, Z.T. Yang, K. Wang, J. Mater, Chem. B, 3.8, 1624-1632, (2015).

[6] A.S. Amin, Sens, Actuators B Chem, 221, 1342-1347, (2015).

[7] K. Saha, SS. Agasti, C. Kim, X. Li, VM. Rotello, Chem Rev, 112, 2739-2779, (2012).

[8] K.A.Willets, R.P. Van Duyne, Rev. Phys. Chem, 58, 267-297, (2007).

<sup>31</sup> cataluminescence

<sup>32</sup> Han