کاربرد انواع حسگرها در سامانه های هوشمند شناسایی عناصر مختلف برای تصفیه پسابهای شهری جهت استفاده در کشاورزی

مهروز پشم فروش، سید جلیل رضوی، نوراله میرغفاری

چکیده

مدیریت آب در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از عوامل مهم و اثر گذار بر تولیدات کشاورزی است که با استفاده از برنامه‌ریزی-های صحیح می‌توان کشاورزان را در جهت استفاده بهینه از این منابع محدود هدایت کرد. به منظور جبران کمبود منابع آب آبیاری، در چند سال اخیر استفاده از پساب تصفیه شده به عنوان یک منبع آب در بخش کشاورزی رواج یافته است. تصفیه‌خانه‌ها برای تأمین آب سالم باید استانداردهای کیفی سلامت و پارامترهایی از قبیل رنگ، کدورت و بو را مورد بررسی قرار دهند؛ روش‌های فعلی شناسایی عناصر موجود در آب عمدتا روشهای آزمایشگاهی وقت‌گیری هستند که نیاز به استفاده از مواد شیمیایی و کارکنان آموزش دیده دارند. در این پژوهش سعی برآن است که روشها و دستگاههای مناسب جهت نظارت مستقیم و بلادرنگ بر کیفیت پساب مورد ارزیابی قرار گرفته تا مناسبترین دستگاه جهت قرارگیری در سامانه هوشمند شناساگر عناصر انتخاب گردد.

واژگان کلیدی: حسگرالکتروشیمیایی، حسگرمایکروویو، زیست حسگر، کیفیت آب، نیترات

مقدمه

گسترش شهر نشینی از یکطرف و توسعه فعالیتهای کشاورزی و صنعتی از طرف دیگر موجب گردیده است تا فشار بر منابع طبیعی به طور بی سابقه ای فزونی یافته و در کنار استفاده بی رویه از منابع، آلودگی محیط زیست نیز گسترش یابد. ورود مواد مضر به چرخه زیست طبیعی حیات انسانی را بر روی کره زمین تهدید می نماید. آلودگی منابع آب خطرات بسیاری را از جمله شیوع بیماریها به ارمغان آورده است در حالیکه دسترسی به منابع آب پایدار هر روزه کمتر و کمتر می گردد. عموما آلودگی محیط زیست توسط مواد مضر از دو منبع آلوده کننده های نقطه ای[1] و آلوده کننده های غیر نقطه ای[2] بوجود می آید. در چرخه فعالیتهای زیستی کنترل آلوده کننده های نقطه ای بدلیل خروج مواد آلوده کننده از یک منبع مشخص مانند لوله فاضلاب شهری یا لوله فاضلاب

[1]- Point Source
[2] - Nonpoint Source

یک واحد صنعتی راحت تر می باشد، در صورتیکه گستره آلودگی غیر نقطه ای وسیعتر و در نتیجه کنترل آن مشکل و مستلزم وجود قوانین سخت تر می باشد.

نیترات یک عنصر کلیدی در چرخه نیتروژن و در حقیقت ارتباط بین فرآیندهای نیتروژن سازی و نیتروژن‌دهی می‌باشد. امروزه استفاده از کودهاینیتراته در امر کشاورزی بطور فزاینده‌ای گسترش یافته از طرفی مقدار آبشوییینیترات از مزارع به رودخانه‌ها و آبهای سطحی در حال افزایش می‌باشد.(Amine and Palleschi, 2004) در مجموع نیترات یک افزودنی مجاز مواد غذایی برای استفاده در پخت گوشت است اما نیترات در بدن انسان توسط باکتریهای معده کاهش یافته و به نیتریت و ترکیبات نیتروزآمینسرطان‌زا تبدیل می‌شود.(Korostynska and Mason, 2012)

وجود یون نیترات در محیط زیست، صنایع غذایی و سیستمهای صنعتی و فیزیولوژیکی و همچنین افزایش سطح آگاهی مردم از خطرات این یون باعث ابداع روشهای مختلف جهت کاهش یا حذف آن از محیط زیست شده است. وجود این یون در طبیعت با چالشهایی همراه است که نیاز به نظارت دائمی دارد.

روشهای تشخیص و شناسایی نیترات به طور کلی دو دسته اند که عبارتند از: ۱- روش همزمان مانند روش الکتروشیمیایی و الکتروفورزموئین که به موجب آن هرکدام از آنالیتها در اندازه گیریهای جداگانه شناسایی می شوند. ۲- روش دیگر روش تجزیه متوالی است که بر مبنای اندازه گیری یون کاهش یافته صورت می گیرد و برای تشخیص میزان نیترات در این روش یوننیترات به نیتریت تبدیل و تشخیص و شناسایی بر اساس میزان یوننیتریت می باشد.(Mattewet *al*., 2001)

نظارت مستقیم و مداوم بر کیفیت فاضلاب یکی از مشکلات تصفیه خانه‌های فاضلاب است.(Bourgeois *et al*., 2001) سیستم‌های پیشرفته مستقل قادر به انجام اندازه‌گیریهای تحلیلی پیچیده از راه دور، هنوز هم به قدرت‌های فردی، ارتباطات بی-سیم، پردازنده و واحد مبدل الکترونیکی و همچنین تعمیر و نگهداری منظم نیاز دارند. از اینرو نیاز به توسعه یک روش مقرون به صرفه خودکار جهت نظارت بر کیفیت فاضلاب به‌ویژه برای اندازه‌گیرییونهایی مانند نیترات می‌باشد.(Korostynska and Mason, 2012)

هدف از مقاله حاضر بررسی انواع حسگرها در شناسایی یوننیترات به منظور انتخاب مناسب‌ترین حسگر برای استفاده در یک سامانه هوشمند تصفیه بیولوژیکی پساب فاضلاب شهری می‌باشد.

مواد و روشها

در سالهای اخیر،افزایش نگرانی ازاثرات سمی مواد شیمیایی در محیط زیست باعث ایجاد راه کارهایی جهت نظارت دقیق بر سطح آلاینده ها در فرایندهای صنعتی، کشاورزی و شهری شده است. علاوه براین نظارت مستمر بر این آلودگی ها نیازمند استفاده از حسگرهایی با پاسخ سریع، حساسیت کافی و طول عمر طولانی می باشد.

انواع حسگرها از جهت قرارگیری در سامانه، سادگی استفاده، محل قرارگیری حسگر، قیمت و زمان پاسخ سریعتر در هشت دسته تقسیم بندی شده‌اند.

مثال	ویژگی
In-situ, at-line, in-line, on-line, off-line	محل قرارگیری حسگر
نمونه‌برداری خارجی، نمونه‌برداری داخلی	نوع نمونه‌گیری
تصفیه شده، تصفیه نشده	نوع نمونه
پیوسته، گسسته	روش تشخیص نمونه
پتانسیومتری، کالریمتری، آنزیمی، تیتراسیون	روش اندازه‌گیری
تک پارامتری، چند پارامتری	تعداد پارامترهای مورد اندازه‌گیری
با مواد مصرفی، بدون مواد مصرفی	تجهیزات مورد نیاز
طولانی، متوسط، کوتاه	دوره نگهداری

انواع حسگرهای مورد استفاده در سامانه‌های شناساگرنیترات عبارتند از: حسگرهایالکتروشیمیایی، حسگرهای فیبر نوری، حسگر-هایمایکروویو، زیست حسگرها.

حسگرهای الکتروشیمیایی

حسگرهایالکتروشیمیایی دارای روشهای مختلف اندازه‌گیری از جمله روش پتانسیومتری، ولتامتری و هدایت سنجی هستند که جهت اندازه‌گیری آلودگی آب استفاده می‌شوند. این حسگرها خواص خود را در اثر فعل و انفعالات انجام شده در تماس با مؤلفله قابل اندازه‌گیری تغییر می‌دهند. فرایند اکسایش–کاهش انجام شده در الکترود کار تولید سیگنالهای قابل اندازه‌گیری می‌کند. (Velusamy and Arshak, 2010)

روش هدایت سنجی: در این روش غلظت یون مورد نظر از طریق اندازه‌گیری مقاومت محلول بدست می‌آید. تعیین غلظت به روش هدایت سنجی در شرایطی که لازم است کل غلظت یونکمتر از حد مجاز باشد و یا اگر به عنوان یک شناساگرآنلاین بعد از جداشدن مخلوط یونها با استفاده از روش کروماتوگرافییونیاستفاده شود، به کار می‌رود. (Bourgeois *et al*., 2001)

روش پتانسیومتری: در این روش پتانسیل تعادل الکترودشناساگر در برابر یک الکترود مرجع با استفاده از یک ولتمتر با امپدانس بالا اندازه‌گیری می‌شود. در فرایند اکسایش–کاهش الکترودشناساگرپتانسیل اندازه‌گیری شده یک پتانسیل مختلط است که تابعی از غلطت تمام گونه‌های موجود در محلول می‌باشد. در الکترودهای یون گزین مواد الکترود را می‌توان صرفا جهت تشخیص یک گونه خاص و بدون دخالت یونهای دیگر انتخاب کرد.

روش پتانسیومتری مناسبترین روش مستقیم الکتروشیمیایی جهت تشخیص نیترات می‌باشد که دارای مزایای متعددی است که با توجه به توسعه فناوریهای سنجش مستقیم و بلادرنگ، به عنوان یک ابزار دقیق سنجش بسیار مقرون به صرفه می‌باشد.(Bourgeois*et al*., 2001)

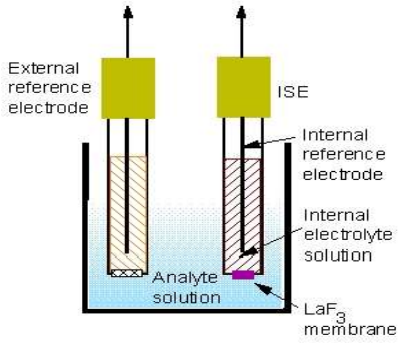
روش ولتامتری: در ولتا متری از سه الکترود استفاده می شود:

۱– الکترود کار: از جنس قطره جیوه می باشد در این الکترود واکنش احیا صورت می گیرد.

۲– الکترود مرجع: معمولا از جنس الکترود کالومل می باشد که دارای سطح بزرگی می باشد که به صورت الکترود غیر پلاریزه ایده ال عمل می‌کند پتانسیل اعمال شده به الکترود کار را نسبت به این الکترود ارزیابی می کنند.

۳– الکترود کمکی: از جنس میله پلاتینی یا گرافیتی می باشد هر واکنشی که در سطح الکترود کار صورت می گیرد واکنش مخالف آن در سطح این الکترود صورت می گیرد در نتیجه جریان بین این الکترود و الکترود کار اعمال می شود.

لازم است به این نکته توجه شود که پتانسیل بین الکترود کار و الکترود رفرنس اعمال میگردد ولی جریان بین الکترود کار و الکترود کمکی اندازه گیری میشود.(Bourgeois*et al*., 2001)



شکل ۱) الکترود انتخاب کننده یون

مزایای نظارت به روش الکتروشیمیایی، با استفاده از انواع روشهای اندازه‌گیری فوق در زمینه محیط زیست عبارتند از:

۱. انتخاب مواد الکترود به خصوص برای الکترودهای یون گزین،بستگی به کاربرد الکترود برای یون‌های خاص مثلا یون نیترات دارد همچنین در سنسورهای ولتامتری و در برخی از مواد الکترود، مشکل دخالت یونهای مزاحم کاهش یافته است.

۲. ابزار مدرن الکتروشیمیایی، به خصوص با پتانسیل کنترل شده همراه با سنسورهای ولتامتری، دارای حساسیت بالا و محدودیت‌های کم تشخیص هستند.

۳. سنسورهای قابل حمل را می‌توان خارج از آزمایشگاه نیز استفاده کرد.

۴. سنسورهای کوچک مینیاتوری را می‌توان در شرایطی که سایر پروب‌ها قابل استفاده نباشند به‌کار برد.

حسگرهای الکتروشیمیایی را می‌توان در سامانه‌های هوشمند بکار برد.در هر سیستم کنترلی هوشمند حسگرنقش عمده ای را بر عهده دارد. سامانه هوشمند شناسایی یون نیترات در پساب تصفیه شده بیولوژیکی شامل حسگر یون گزین نیترات، کنترلر و شیر برقی طراحی و ساخته شد.(پشم فروش و همکاران، ۱۳۹۲؛ پشم فروش و رضوی، ۱۳۹۱) حسگر اطلاعات مربوط به پارامترهای محیطی و غیر محیطی را تشخیص، دریافت و اندازه گیری نموده و برای تعیین وضعیت موجود و مقایسه با وضعیت مطلوب به یک دستگاه کنترلر ارسال می نماید. فرآیند تصمیم سازی برای ایجاد تغییرات بر عهده دستگاه کنترلر بوده اما حساسیت و در حقیقت دقت سیستم بسته به عملکرد حسگر دارد.

نتایج بررسی های اخیر نشان داده که الکترود نیترات تنها وسیله ای است که می تواند پایش[3] مستقیم و مداوم بر مقدار نیترات در تصفیه خانه های فاضلاب داشته باشد (آزمایشگاه شیمی دانشگاه کرت یونان ، ۲۰۱۲). نظارت مستقیم بر مقدار نیترات در آبهای زائد کار بسیار دشواری است و مشکلات زیر را به همراه دارد:

۱) فعالیت نیترات در آب در سطح نسبتا پایینی در مقایسه با یون کلرید انجام می گیرد.

۲) فاضلاب محلول بسیار پیچیده ای است و حاوی مواد آلی مختلفی است که باعث اختلال در کار غشاء الکترود شناساگر نیترات می شوند.

[3] -Monitoring

۳) قابلیت انتخاب یون نیترات در مقابل یونهای مزاحم برای این سنسورها به استثنای استفاده از آنها برای محلولهای پیچیده، زیاد است

۴) ثبات سیگنالهای دریافتی از سنسورهای نیترات به گونه ای است که نیازبه کالیبراسیون مکرردارد.

۵) طول عمر سنسورهای نیترات به گونه ای است که اجازه استفاده طولانی مدت را به ما نمی دهد.

آزمایشات نشان می دهد که الکترودنیترات می تواند تا ۱۲ساعت بطور مداوم و بدون نیاز به کالیبراسیون مقدار نیترات را اندازه گیری کند. اندازه گیری هر ۵ تا۱۰دقیقه سنجش مقدار نیترات موجود در پساب را برای هفته ها و ماه ها مقدور می سازد.

برای بدست آوردن بهترین نتیجه از این سنسورها باید از موادی به عنوان شناساگر استفاده کرد که دارای حد تشخیص مناسب،زمان پاسخ کوتاه، پایداری طولانی مدت، حساسیت کافی و عاری از حساسیت دیگر کاتیون ها باشد(Stetter and Yaqi *et al*., 2006؛Yao, 2003). در این روش الکترود به طور مستقیم درون مخزن حاوی پساب تصفیه شده خروجی از سیستم فیلتراسیون قرار گرفته و میزان غلظت عناصر مورد نظر محلول در پساب را به صورت بلادرنگ و با زمان پاسخ بین ۵تا۱۰ ثانیه اندازه گیری می کند.

حسگرهای فیبر نوری جهت نظارت مستقیم بر کیفیت آب

قطعاتی برپایه تکنولوژی فیبر هستند، اساس کار این قطعات مبتنی بر ارسال یک پرتو نور از منبع لیزری(اغلب نور لیزر تک فرکانسی)یا یک منبع فوق درخشان درون یک فیبر نوری است. خواص نور ارسال شده در طول فیبر با توجه به عوامل و اثرات فیزیکی وارد بر آن تغییر یافته و سرانجام در سوی دیگر فیبر به یک دتکتور یا آشکارساز می‌رسد.(Korostynska and Mason. 2012)

حسگرهای فیبر نوری که ترکیبی از روش UV-Vهستند و در تشخیص آلاینده‌های آب مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌طور معمول به هنگام قرار گرفتن در معرض نور تحریک تولید پدیده نور افشانی می کنند. حسگرهای فیبر نوری بر اثر تغییرات محیطی طول موج نور را مدوله می کنند.

مزایای استفاده از حسگرهای فیبر نوری عبارتند از:

۱. سنسور های مبتنی بر فیبر نوری از مواد عایق الکتریکی ساخته شده اند و به کابل برق نیاز ندارند لذا در محیط هایی که تحت ولتاژ بسیار بالایی هستند به راحتی می توانند به کار گرفته شوند.

۲. این سنسورها نسبت به تداخلات الکترومغناطیسیو حتی رعد و برق مصون هستند و خود نیز هیچ تداخل الکتریکی برای سایر وسایل ایجاد نمی کنند.

۳. از مواد شیمیایی بی اثر ساخته می شوند.لذا مشمول خوردگی و یا آلوده کردن محیط پیرامون نمی شوند.

۴. در محیط هایی با قابلیت انفجار نظیر پالایشگاههای گاز و فرآوری بنزین و غیره قابل استفاده اند .چرا که جرقه الکتریکی ندارند حتی اگر معیوب شوند.

۵. این قطعات گستره وسیعی از دمای کار را شامل می شوند که تقریباً هیچ قطعه الکترونیکی دیگری مانند آنها نیست.

۶. سنسورهای مختلف مبتنی بر فیبر نوری توانایی به کار گیری همزمان در یک رشته فیبر را دارند.

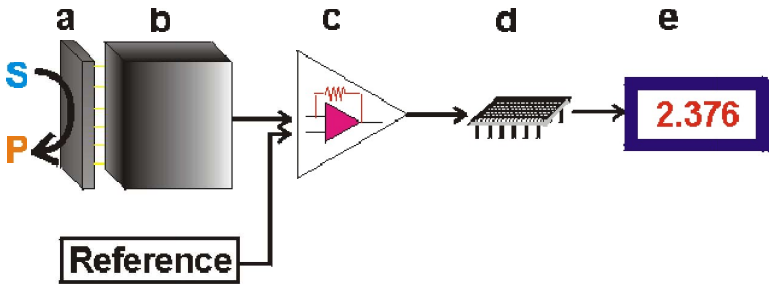
حسگرهای بر پایه تکنولوژی ماکروویو

استفاده از امواج الکترومغناطیس جهت سنجش و اندازه‌گیری، یکی از روشهای تجاری موفق در حال توسعه است که برای کاربردهای مختلف صنعتی از جمله تعیین غلظت یونهای موجود در آب، اندازه‌گیری سطح آب، محتوای رطوبتی مواد، نظارت مستقیم بر فرآیند بیوگاز گیاهان و همچنین در بهداشت و درمان استفاده می‌شود.(Korostynska*et al*., 2009)

نتایج بدست آمده از از نظارت مستقیم میزان نیترات موجود در پساب نشان دهنده توانایی بالقوه حسگرهایمایکروویو برای سنجش کیفیت آب به صورت بلادرنگ می‌باشد.(Mason *et al*., 2010)

زیست حسگرها

آلاینده‌های آلی به ویژه آفت‌کشها در آزمایشگاهها به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. استفاده از زیست حسگرها مانند الکترود اصلاح شده که در آن اصلاح کننده یک مولکول بیولوژیکی فعال است، می‌تواند روش دیگری جهت تشخیص و شناسایی عناصر باشد.زیست حسگرها در زمینه‌های پزشکی، صنایع غذایی، امنیتی و همچنین برای نظارت بر محیط زیست از جمله ارزیابی کیفیت آب استفاده می‌شوند. زیست حسگر یک دستگاه تحلیلی است که پاسخ بیولوژیکی را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می-کند. یک شناساگر یا گیرنده عناصر جهت تشخیص آنالیت مورد نظر و یک مبدل جهت تبدیل ورودی به سیگنال الکتریکی قابل اندازه‌گیری، دو جزء اصلی تشکیل دهنده یک ریست حسگر می‌باشند. شناساگر، آنالیت مورد نظر را شناسایی و پاسخ بیولوژیکی مربوطه را دریافت کرده که این پاسخ توسط مبدل به سیگنال الکتریکی معادل تبدیل می‌شود. وجود یک تقویت کننده در سامانه زیست حسگر سیگنالهای کوچک مبدل را به سیگنالهای خروجی بزرگ که شامل ویژگی‌های شکل موج سیگنال ورودی است،تبدیل می‌کند.(FariasMelo and Medeiros Salgado, 2011)



شکل ۲) زیست حسگر؛ a)بیوکاتالیست، b)مبدل، c)آمپلیفایر، d)پردازنده، e)نمایشگر

نتیجه‌گیری

نظارت بر کیفیت آب هنوز هم وابسته به تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی است. حسگرها ی موجود برای تعداد بسیار محدودی از پارامترها و غالبا برای برای برآورده کردن نیاز کاربران می‌باشند. سیستم‌های پیشرفته مستقل سنجش از راه دور جهت انجام اندازه-گیری‌های تحلیلی پیچیده هنوز هم نیاز به قدرت‌های فردی، ارتباطات بی‌سیم، پردازنده و واحد مبدل الکتریکی و تعمیر و نگهداری منظم دارند.

دستیابی به پاسخ سریع در محل، استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی را امری اجتناب ناپذیر کرده است. از آنجاییکه سیستمهای آنلاین کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده‌اند، مواردی از جمله استحکام، مقرون به صرفه بودن سنسورها، عمر طولانی باطری و غیره نیز باید مورد توجه قرار گیرد. مزیت این حسگرها این است که داده‌های جمع‌آوری شده جهت پردازش به یک سرور مرکزی منتقل و پس از برقراری ارتباط گزارش آن از طریق پیام کوتاه و یا ایمیل ارسال می‌گردد.اندازه‌گیری‌های میدانی نیاز به ارزیابی سریع در محل دارد که می‌تواند گستره جغرافیایی بیشتری را پوشش دهد در حالیکه استفاده از این روش باعث کاهش هزینه، زمان تآخیر و مسائل مربوط به صحت و درستی اندازه‌گیری‌ها که در روشهای سنتی آزمایشگاهی وجود دارد، می‌شود. با بررسی نتایج حاصل از روشهای ذکر شده برای اندازه گیری میزان عناصر محلول در پساب می توان دید که برای به دست آوردن نتیجه مطلوب باید از روشی استفاده کرد که دارای سریع ترین زمان پاسخگویی و بیشترین دقت باشد به همین دلیل استفاده از روش الکتروشیمیایی به دلیل قرار گرفتن مستقیم الکترودها در سامانه فیلتراسیون بهترین روش برای شناسایی یونها می باشد.

منابع

[۱]پشم فروش، م و همکاران. ۱۳۹۲. روشهای بهبود مصرف پساب ها به منظور استفاده در کشاورزی و فضای سبز شهری. مجموعه مقالات اولین همایش ملی بحران آب. خوراسگان. اصفهان.

[۲]پشم فروش، م و س. ج. رضوی. ۱۳۹۱. سامانه هوشمند شناسایی نیترات در پسابهای تصفیه شده شهری. مجموعه مقالات همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب. کرمان.

[3] Amine, A and G. Palleschi. 2004. Phosphate, nitrate and sulfate biosensors. Analytical Letter. 37:1-19.

[4] Bielecki, Z *et al*., 2012. Sensores and systems for the detection of explosive devices an overview. Metrology and Measurement Systems. 1:3-28.

[5] Bourgeois, W *et al*., 2001. On-line monitoring of wastewater quality: a review.Chemical Technology & Biotechnology. 76: 337-348.

[6] Brett, C. M. A. 2001. Electrochemical sensores for environmental monitoring.Strategy and examples.Pure Application Chemical. 73: 1969-1977.

[7] FariasMelo, A and A. Medeiros Salgado. 2011. Biosensores for environmental applications. Environmental Bioseneores. 978:14-29.

[8] Korostynska, O *et al*., 2009. Glucose monitoring using electromagnetic waves and microsensor with interdigitated electrodes.Sensors Applications Symposium. 245: 34-37.

[9] Korostynska. O and A. Mason. 2012. Monitoring of nitrate and phosphates in wastewater: Current technologies and further challenges.Smart Sensing and Intelligent Systems. 5: 149-176.

[10] Mason, A*et al*., 2010. HEPA filter material load detection using a microwave cavity sensor. Smart Sensing and Intelligent Systems. 3: 16-25.

[11] Mattew, J *et al*., 2001. Detection and determination of nitrate and nitrite: a review. Talanta. 54:785-803.

[12] Velusamy, V and K. Arshak. 2010. An overview of foodborne pathogen detection: In the perspective of biosensors, Biotechnology Advances. 28: 232-254.

[13] Stetter, J. R and Yao, S. 2003. Sensors, chemical sensors, electrochemical sensors, and ECS. The Electrochemical Society. 150:1-11.

[14] Yaqi, J *et al*., 2006.Optical biosensor for the determination of BOD in seawater.Talanta. 70: 97-103.

Abstract

Water management in arid and semi-arid agricultural production is one of the important factors affecting the use of Planning the correct farmers in order to make optimal use of limited resources can be directed . In order to compensate for the shortage of water resources and irrigation , in recent years the use of effluent as a water source in agriculture has increased. Wastewater treatments to provide clean water to health and quality parameters such as color , odor, turbidity and to consider methods of the current laboratory methods detect the elements of water, mainly when the need to use the chemical materials and employees are trained . In this study , the methods and devices for direct, real-time monitoring of water quality should be evaluated.

Keywords: electrochemical sensors, microwave sensors, biosensors, water quality, nitrate