

همایش اثرات زیست محیطی پساب‌های کشاورزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی

۲۵ بهمن ماه ۱۳۸۰

تجهیزات و روش‌های عملی و سریع جهت سنجش کیفی آب‌ها در محیط زیست

مهرداد عدل^۱

مقدمه

این نوشتار به معرفی روش‌ها و دستگاه‌هایی می‌پردازد که تسهیلات و سرعت بیشتری را در اندازه‌گیری آلودگی‌ها و سنجش کیفیت انواع آب‌ها (اعم از سطحی، زیرزمینی، آب‌های تازه، فاضلاب‌ها و زهاب‌ها) نسبت به روش‌های مرسوم و مندرج در استانداردها ایجاد می‌کنند. از آنجا که بحث این نوشته بیشتر در ارتباط با آبیاری و زهکشی و محیط زیست می‌باشد، لذا به روش‌ها و ابزار و دستگاه‌هایی پرداخته خواهد شد که کاربرد بیشتری در این مقوله داشته باشند.

۱- دستگاه‌های سنجش شاخص‌ها و ویژگی‌های اولیه

این دستگاه‌ها از دیدگاه ساختار، وزن و شیوه عملکرد ساده‌تر بوده و با سرعت بیشتری به جواب می‌رسند. برخی از آن‌ها حتی در اندازه‌های جیبی و وزن کمتر از ۲۵۰ گرم ساخته شده‌اند. باید اشاره شود که برخی از شاخص‌های کیفی آسانتر و سریعتر اندازه‌گیری و تعیین می‌شوند که عبارتند از: دما، pH، غلظت مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت و اکسیژن محلول. نخستین دسته از این گروه، pH مترها هستند که pH آب و دیگر مایعات را اندازه می‌گیرند و در انواع جیبی، کیفی و بومیزی ساخته می‌شوند. معمولاً محدوده اندازه‌گیری آن‌ها از ۰/۰ تا ۱۴ می‌باشد و دقت‌های

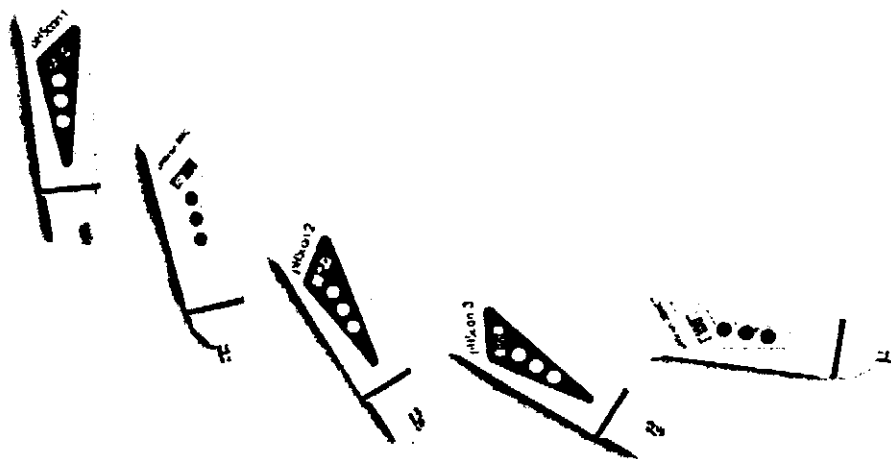
^۱ - کارشناس - رشد عمران محیط زیست - پژوهشگاه نیرو

عضو کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

اندازه‌گیری مختلف از ۱± تا ۰/۰۰۱± دارند. جدول زیر برخی از دستگاه‌های تجاری pH متر که تنها این شاخص را اندازه می‌گیرند، معرفی می‌نماید.

جدول (۱)- برخی از دستگاه‌های pH متر جیبی

نام مدل	سازنده	دامنه اندازه‌گیری	دقت	ملاحظات
pHScan 1	EUTECH Instruments	-1.0 ~ 15.0	±0.2	
pHScan 2	" " "	-1.0 ~ 15.0	±0.1	
pHScan 3	" " "	-1.00 ~ 15.00	±0.05	
pHScan WP2	" " "	-1.0 ~ 15.0	±0.1	ضد آب
pH 17	AQUALYTIC	1.0 ~ 13.0	±0.2	تا ۵۰°C مقاوم
pH 18	" "	0.00 ~ 14.00	±0.01	تا ۱۰۰°C مقاوم



شکل (۱)- چند نمونه pH متر جیبی

دومین دسته از دستگاه‌های سنجش شاخص‌های اولیه، هدایت‌سنج‌ها می‌باشند که هدایت الکتریکی آب را برحسب میکروزیمنس بر سانتیمتر یا میلی‌زیمنس بر سانتیمتر اندازه‌گیری می‌کنند. برخی از دستگاه‌ها مستقیماً مجموع مواد جامد محلول (TDS) را برحسب ppm یا ppt نمایش می‌دهند. دامنه اندازه‌گیری هدایت‌سنج‌ها از صفر تا چند هزار $\mu\text{S}/\text{cm}$ متغیر است. شکل ظاهری این دستگاه‌ها نیز همانند pH مترها بوده و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی باید نوک دستگاه یا الکترود آن را داخل آب یا مایع مورد آزمایش قرار داد. جدول زیر برخی از مدل‌های تجاری این دستگاه‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول (۲)- مشخصات چند نمونه از دستگاه‌های جیبی سنجش هدایت الکتریکی و TDS

نام مدل	سازنده	واحد سنجش	دامنه اندازه‌گیری	دقت
TDScan 1	EUTECH	Ppm	0 ~ 1990	10 ppm
TDScan 10	" "	Ppm ppt	0~ 999 1.00 ~9.99	1 ppm 0.01 ppt
TDScan 3	" "	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0 ~1990	10 $\mu\text{S}/\text{cm}$
TDScan 20	" "	$\mu\text{S}/\text{cm}$ mS/cm	0 ~1999 2.00 ~19.99	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 0.01 mS/cm

پتانسیل‌سنج‌ها دسته دیگری از دستگاه‌ها هستند که پتانسیل اکسیداسیون- احیاء را در محیط آبی برحسب میلی ولت (mV) اندازه‌گیری می‌کنند.

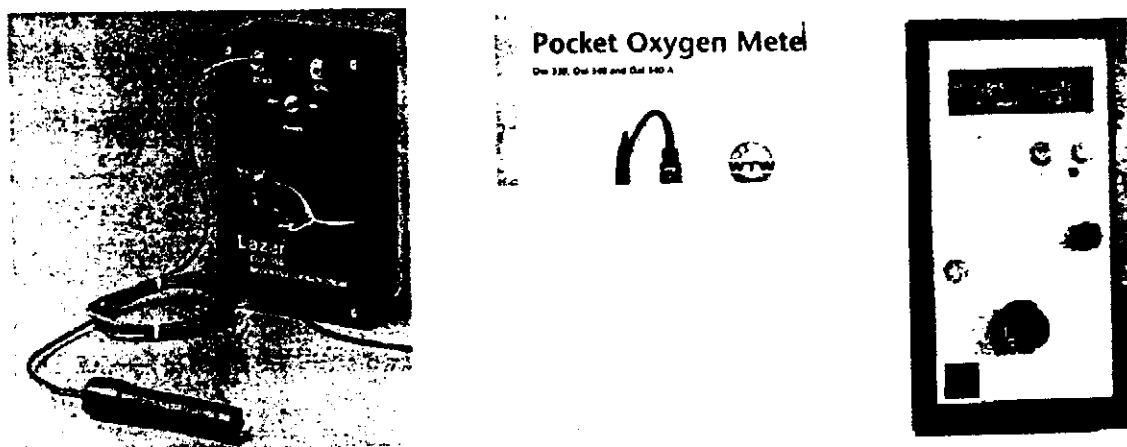
چهارمین دسته، دماسنج‌ها هستند که انواع الکلی، جیوه‌ای، عقربه‌ای و دیجیتالی دارند. برای دامنه‌های گوناگون دمایی طراحی و ساخته شده‌اند. دماسنج‌های دیجیتالی توانایی بیشتری در اندازه‌گیری دامنه وسیعی از دما (زیر صفر تا چند صد درجه بالای صفر سانتیگراد) دارند.

کدورت‌سنج‌ها (توربیدیمترها) پنجمین دسته از دستگاه‌های اندازه‌گیری شاخص‌های اولیه هستند که کدورت آب را بر حسب واحد کدورت (NTU) تعیین می‌کنند. شیوه کار این دستگاه‌ها بر اساس نورسنجی (فتومتر) استوار است و شیشه حاوی نمونه در محفظه دستگاه قرار می‌گیرد و از روی میزان جذب نور توسط نمونه، کدورت آن اندازه‌گیری می‌شود.

یکی دیگر از شاخص‌های مهم کیفی آب، میزان اکسیژن محلول (DO) در آن است که نمادی از توان ادامه زندگی آبزیان در آب می‌باشد. این شاخص توسط دستگاه سنجش اکسیژن محلول (DO سنج) برحسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری می‌شود. شرکت‌های WTW, Lazar, Eutech Instruments و General

Cybernetics از جمله سازندگان دستگاه‌های DO سنج می‌باشند. دامنه اندازه‌گیری اکسیژن محلول در این دستگاه‌ها اغلب بین صفر تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر است.

شکل (۲) - چند نمونه دستگاه سنجش اکسیژن محلول



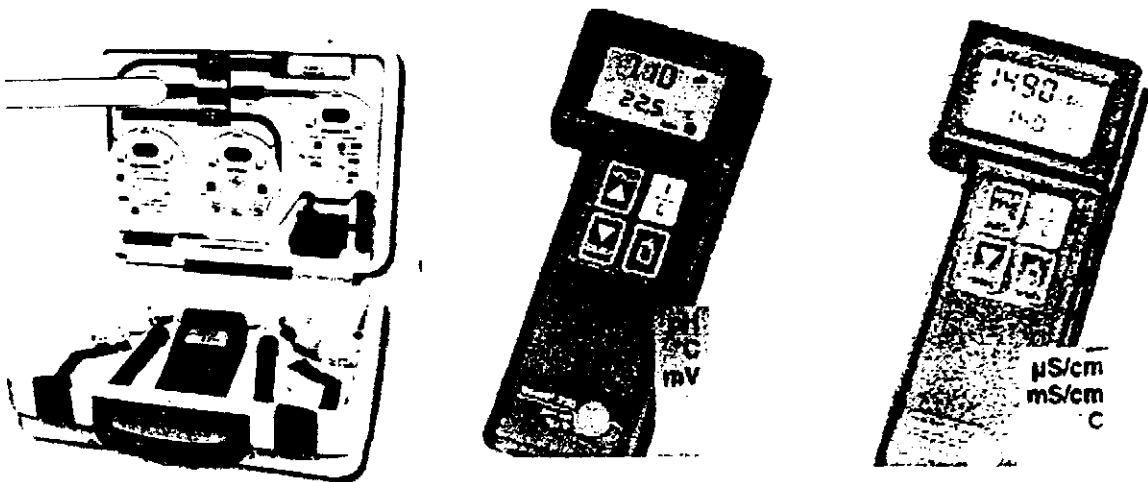
جدول (۳) - مشخصات چند نمونه از دستگاه‌های جیبی سنجش اکسیژن محلول (DO)

دقت	دامنه اندازه‌گیری	واحد سنجش	سازنده	نام مدل
0.01 ppm	0.00 ~ 19.99	ppm , mg/l	EUTECH	CyberScan DO 100
0.01 ppm	0.00 ~ 19.99	ppm . mg/l	" "	CyberScan DO 300
0.5 %	0.00~ 19.99	mg/l	WTW	Oxi 330
0.1 °C	0.0~ 90.0	°C		
	-5.0~ 50.0			

گذشته از دستگاه‌هایی که منحصرأً برای سنجش یک شاخص ساخته شده‌اند، دستگاه‌های زیادی هم وجود دارند که چند شاخص را اندازه‌گیری می‌نمایند. جدول (۴) برخی از انواع تجاری و مناسب این دستگاه‌ها را برای عملیات سنجش میدانی به همراه شاخص‌های قابل اندازه‌گیری نمایش می‌دهد.

جدول (۱)- برخی از دستگاه‌های اندازه‌گیری چندکاره قابل حمل

نام مدل	شرکت سازنده	دامنه اندازه‌گیری	دقت	ملاحظات
pH 330	WTW	-2.00~ 16 pH ±1250 mV -5.0 ~ 99.9 °C	±0.01 ±1 ±0.1	وزن ۲۰۰gr باتری 6 V
pH 197	WTW	-2.00 ~ 16 pH ± 1250 mV -5.0 ~99.9 °C	±0.01 ±2 ±0.1	وزن ۱۵۰۰gr برق و باتری
Multiline P4	WTW	-2.00 ~ 16 pH ± 1250 mV -5.0 ~99.9 °C 0.0 ~19.99 mg/l O2 1 μS/cm ~500 ms/cm	±0.01 ±2 ±0.1 ±0.5 % ± 1 %	وزن ۲۰۰gr باتری قابل شارژ
704	Metrohm	0.0 ~ 14.00 pH ±2000 mV -130 ~ 199.9 °C	±0.01 1 ±0.1	مقاوم به حرارت باتری
EcoScan pH6	EUTECH Instruments	0.0 -14.00 pH ± 1000 mV 0.0 ~ 100.0°C	±0.01 ±2 ±0.5	
pH 22	AQUALYTIC	0.0 ~ 14.00 pH ±1999 mV 0.0 ~ 100.0 °C	±0.01 ±1 ±0.1	وزن ۲۵۰gr باتری 9V
Testo 230	testo	0.0 ~14.00 pH ±1999 mV -50.0 ~ 150 °C	±0.01 ±2 ±0.2	باتری
Testo 2-0	testo	0 μS/cm ~2000mS/cm -50 ~150 °C 1 mg/L ~200g/L NaCl	0.5~1.2 % mV	باتری



شکل (۳) - از راست به چپ، دستگاه‌های Testo 240 و Testo 230 و Multiline P4

۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری شاخص‌های ثانویه

شاخص‌های ثانویه نسبت به شاخص‌های اولیه، با دشواری بیشتری در اندازه‌گیری روبرو هستند. در مبحث آبیاری و زهکشی و محیط زیست، شاخص‌های ذیل بیشتر رویاروی مهندسين و بهره‌برداران قرار می‌گیرند:

- اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)

- انواع آنیون‌ها: ترکیبات نیتروژن (NO_3^- , NO_2^-)، ترکیبات فسفر (PO_4^{3-} , H_2PO_4^-)، ترکیبات گوگرد (SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , S^{2-})، کلرید، سیانید، فلونورید،

- انواع کاتیون‌های عمده: سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی، مس، آلومینیم

- فلزات سنگین، کمیاب و عناصر سمی: جیوه، کادمیم، سرب، آرسنیک، بریلیم، کرم، نیکل، کبالت، وانادیم، اورانیم، مولیبدن

- سختی، قلیائیت

- ترکیبات آلی سمی مانند آفت‌کش‌ها

- مجموع نیتروژن و نیتروژن آمونیاکی

شیوه‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها وجود دارند که عبارتند از:

تیتراسیون، فتومتری و رنگ‌سنجی، جذب اتمی، یون کروماتوگرافی، پتانسیومتری، ولتامتری

۲-۱- فتومتری

برای اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند COD، ترکیبات نیتروژن و فسفر و برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها، دستگاه‌هایی ابداع شده‌اند که تلفیقی از فن‌آوری ترکیب شیمیایی و سنجش رنگ یا میزان جذب نور را بکار گرفته‌اند. این دستگاه‌ها مجهز به یک فتومتر می‌باشند و برای هر شاخص یک کیت مخصوص دارند که این کیت معمولاً دارای یک یا چند ماده معرف است که به نمونه افزوده می‌شود و سبب پیدایش رنگ در آن می‌گردد و بر حسب مورد ممکن است نیاز به عملیات تکمیلی (مانند حرارت دادن) داشته باشد، مانند آزمایش تعیین COD که به ترمورآکتور برای گرمادهی نمونه نیاز دارد. در آخرین مرحله، سلول‌های حاوی نمونه فرآوری شده، در محل طیف‌سنجی دستگاه قرار داده شده و براساس میزان جذب نور و مجموعه‌ای از اطلاعات پیش فرض (مانند جذب نور چند نمونه با غلظت یا مقدار معلوم) و روش‌های درون‌یابی ریاضی، مقدار شاخص برآورد می‌شود.

فتومترها دستگاه‌هایی هستند که تنوع بسیاری در نوع و محدوده عمل دارند. برخی از آنها تنها برای طول موج مرئی ساخته شده و برخی دیگر علاوه بر پرتوهای مرئی، امکان اندازه‌گیری در محدوده پرتو فرابنفش (UV) را نیز دارند. شرکت‌های متعددی دستگاه‌های فتومتر را برای کاربری‌های آزمایشگاهی

ساخته و به بازار عرضه نموده‌اند که از آن جمله می‌توان WTW, HACH, MERK و Palintest را نام برد. برخی از فتومترها از پیش برای کالیبراسیون نتایج آزمایش‌ها برنامه‌ریزی شده‌اند. به عنوان نمونه، مشخصات چهار مدل از دستگاه‌های فتومتر در جدول ذیل ارائه شده‌اند.

جدول (۵) - مشخصات چند نوع فتومتر قابل حمل مجهز به باتری

نام و نوع	سازنده	دامنه طول موج	نوع باتری	وزن
Photometer 7000 رنگ سنج تک پرتو با امکان قرائت مستقیم نتیجه	Palintest	390- 660 nm	6 x 1.5 V	۷۶۰ گرم (خود دستگاه)
Photometer 5000 رنگ سنج تک پرتو با امکان حایش میزان نشر	Palintest	390- 660 nm	8 x 1.5 V	۳۲۰ گرم
Photolab S6	WTW	340- 690 nm	rechargeable	۲۸۰۰ گرم با باتری
Photolab S12	WTW	340- 880 nm	rechargeable	۲۸۰۰ گرم با باتری
Multilab P5	WTW	340- 820 nm	14 V	۲۵۰۰ گرم

جدول زیر فهرستی از شاخص‌های قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه‌های یاد شده را ارائه می‌دهد

جدول (۶) - فهرست شاخص‌های قابل اندازه‌گیری به وسیله فتومترهای جدول (۵) و دامنه اندازه‌گیری آنها

Multilab P5	Photolab S12	Photolab S6	P. 5000	P. 7000	واحد	نام شاخص	علامت اختصاری
0.25-3.00	0.25-3.00	-			mg l	نقره	Ag
0.02-1.50	0.02-1.50	-	0-0.5	0-0.5	mg l	آلومینیوم	Al
0.5-12.0	0.5-12.0	-	-	-	mg l	طلا	Au
0.025-0.800	0.025-0.800	-	0-2.5	0-2.5	mg l	بور	B
0.10-2.50	0.10-2.50	-	0-5.0	0-5.0	mg l	متانول	C ₂ H ₅ OH
5-160	5-160	-	0-500	0-500	mg l	کلسیم	Ca
0.025-1.000	0.025-1.000	0.025-1.000	-	-	mg l	کادمیوم	Cd
5-125 2.5-250	5-125 2.5-250	5-125 2.5-250	0-50, 0-50000	0-50, 0-50000	mg l	کلرید	Cl ⁻
0.02-7.50	0.02-7.50	-	0-5.0 0-250	0-5.0 0-250	mg l	کلر	Cl ₂
0.025-5.00	0.025-5.00	-	-	-	mg l	کلرین دی‌اکسید	ClO ₂
0.01-5.00	0.01-0.500	-	0-200	0-200	mg l	سیانید	CN
0.05-2.00 0.01-3.00	0.05-2.00 0.01-3.00	0.05-2.00	0-1.0	0-1.0	mg l	کروم	Cr
0.10-8.00 0.02-6.00	0.10-8.00 0.02-6.00	0.10-8.00	0-5.0	0-5.0	mg l	مس	Cu
0.1-1.5	0.1-1.5	-	0-1.5	0-1.5	mg l	فلورید	F
0.05-4.00 1.0-50.0	0.05-4.00 1.0-50.0	0.05-4.00	0-1.0 0-10	0-1.0 0-10	mg l	هن	Fe
5-140 (Ca) 5-50 (Mg)	5-140 (Ca) 5-50 (Mg)	5-140 (Ca) 5-50 (Mg)	0-500	0-500	mg l	سختی کل	GH
2.0-20.0	2.0-20.0	-	0-2.0 0-100	0-2.0 0-100	mg l	هیدروژن پروکسید	H ₂ O ₂

دنباله جدول (۶) - فهرست شاخص‌های قابل اندازه‌گیری به وسیله فتومترهای جدول (۵) و دامنه اندازه‌گیری آنها

0.2-10.0 0.02-9.00	0.2-10.0 0.02-9.00	0.2-10.0	-	-	mg/l	فرماندند	HCHO
0.02-1.5	0.02-1.5	-	0-0.5	0-0.5	mg/l	سولفید هیدروژن	HS
5.0-50.0	5.0-50.0	5.0-50.0	0-12	0-12	mg/l	پتاسیم	K
0.1-8.0	0.1-8.0	0.1-8.0	0-100	0-100	mg/l	منیزیم	Mg
0.01-10.0	0.01-10.0	-	0-0.03	0-0.03	mg/l	منگنز	Mn
-	-	-	0-15 0-100	0-15 0-100	mg/l	مولیبدات	Mo
0.02-5.00	0.005-2.00	-	0-0.5	0-0.5	mg/l	هیدرازین	N ₂ H ₄
0.5-15.0	0.5-15.0 10-150	0.5-15.0 10-150	-	0-30.0	mg/l	مجموع نیترژن	N _{tot}
0.01-80.0 در چهار محدوده	0.01-80.0 در چهار محدوده	0.01-80.0 در چهار محدوده	0-0.1	0-0.1	mg/l	نیترژن آمونیاکی	NH ₄ -N
0.10-6.00 0.02-5.00	0.10-6.00 0.02-5.00	0.10-6.00	0-10	0-10	mg/l	نیکل	Ni
0.005-1.000 0.02-3.00	0.005-1.000 0.02-3.00	0.02-0.600 0.05-2.00	0-0.5 0-1500	0-0.5 0-1500	mg/l	نیتریت	NO ₂ -N
0.1-220 در پنج محدوده	0.1-220 در پنج محدوده	0.5-100 در دو محدوده	0-20	0-20	mg/l	نیترات	NO ₃ -N
0.5-12.0	0.5-12.0	0.5-12.0	0-20	0-20	mg/l	اکسیژن	O ₂
0.025-5.00	0.025-5.00	0.025-5.00	0-2.0	0-2.0	mg/l	اوزون	O ₃
4.0-40.0 15-300 50-500 300-3500 500-10000	4.0-40.0 15-300 50-500 300-3500 500-10000	4.0-40.0 15-300 50-500 300-3500 500-10000	5-150 20-400 50-2000 500-20000	5-150 20-400 50-2000 500-20000	mg/l	اکسیژن خواهی شیمیایی	COD
0.10-5.00	0.10-5.00	0.10-5.00	-	-	mg/l	سرب	Pb
0.05-90.0 در شش محدوده	0.05-90.0 در شش محدوده	0.05-75.0 در چهار محدوده	0-4.0 0-100	0-4.0 0-100	mg/l	فسفات	PO ₄ -P
-	0.50-5.00	0.50-5.00	-	-	mg/l Ca	سختی باقیمانده	RH
0.01-5.00	0.01-5.00	-	0-4.0 0-100	0-4.0 0-100	mg/l	سیسیبه	Si
0.10-2.50	0.10-2.50	-	-	-	mg/l	سنگ	Sn
1.0-20.0	1.0-20.0	-	0-500	0-500	mg/l	سولفیت	SO ₃
5-250 25-300 100-1000	5-250 25-300 100-1000	5-250 100-1000	0-200	0-200	mg/l	سولفات	SO ₄
0.05-2.50 0.2-5.0	0.05-2.50 0.2-5.0	0.2-5.0	0-4.0	0-4.0	mg/l	روی	Zn

علاوه بر دستگاه‌های فتومتر، برخی از شاخص‌ها به کمک شیوه‌های دیگر رنگ‌سنجی نیز قابل اندازه‌گیری می‌باشند. یکی از این شیوه‌ها، دیسک‌های مقایسه‌ای چشمی^۱ هستند که بر مبنای تطبیق رنگ‌ها عمل می‌کنند و برای هر شاخص یک دیسک خاص موجود است که هر رنگ نشانه یک غلظت می‌باشد و نمونه پس از آمیزش با ماده معرف^۲، تغییر رنگ می‌دهد و رنگ پدید آمده با رنگ‌های موجود بر روی دیسک مقایسه می‌گردد و بدین ترتیب، غلظت ماده مورد نظر یا مقدار شاخص مورد نظر، تشخیص داده می‌شود.

شرکت «پالین تست»^۳ یکی از شرکت‌های تولید کننده این نوع دیسک‌هاست که برای اندازه‌گیری شاخص‌های زیر، دیسک‌های رنگ‌سنجی مقایسه‌ای مخصوص تهیه نموده است.

جدول (۷) - شاخص‌های قابل اندازه‌گیری توسط دیسک‌های رنگ‌سنجی مقایسه‌ای Palintest

نام شاخص	دامنه سنجش	نام شاخص	دامنه سنجش
قلیائیت	0-250 mg/l	آلومینیوم	0-0.5 mg/l
آمونیاک	0-1.0 mg/l (N)	برم (دو محدوده)	0-8.0 mg/l
کلرین (غلظت ندرک، سه محدوده)	0-5.0 mg/l	کلرین (غلظت بالا، دو محدوده)	0-250 mg/l
مس	0-5.0 mg/l	فلوئوراید	0-1.5 mg/l
هیدروژن پروکسید (عضت بی‌بی)	0-1.0 mg/l	هیدروژن پروکسید (غلظت بالا)	0-100 mg/l
آهن شلخت بی‌بی	0-1.0 mg/l	آهن (غلظت متوسط)	0-10
منگنز	0-0.03 mg/l	مولیدات	0-100 mg/l
نیترات	0-15 mg/l (N)	نیتریت	0-0.4 mg/l (N)
نورود	0-1.0 mg/l	فسفات (غلظت پایین)	0-4.0 mg/l
فسفات عضت بی‌بی	0-100 mg/l	سیسیل	0-4.0 mg/l
سولفید	0-5.0 mg/l	روی	0-4.0 mg/l

شکل (۴) - دو نمونه دستگاه فتومتر به همراه تجهیزات الحاقی



Photometer 7000

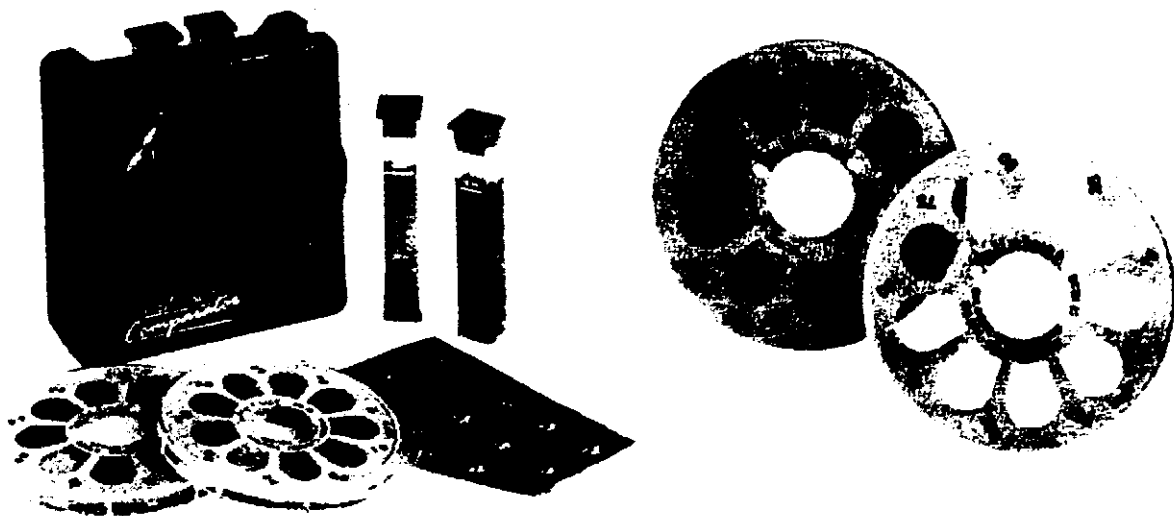


Photometer 5000

^۱ Camparator & Discs

^۲ Reagent

^۳ Palintest



شکل (۵)- دستگاه مقایسه‌گر و نمونه‌هایی از دیسک‌های رنگ سنجی مقایسه‌ای

استفاده از قرص‌های معرف شیوه دیگری است که بر این پایه استوار می‌باشد که به حجم معینی از نمونه آب، قرص‌های مخصوص هر شاخص (برای مثال نیتريت) به تدریج افزوده می‌شود تا تغییر رنگ مشخصی که از قبل پیش‌بینی شده است روی دهد. آنگاه مقدار شاخص مورد نظر براساس تعداد قرص‌های مصرف شده برآورد می‌گردد. این روش برای شاخص‌های زیر قابل استفاده است.

انواع قلیائیت (M, P) (۰ تا ۱۰۰۰ mg/l) و مجموع (۰ تا ۵۰۰ mg/l)، سختی کلسیمی و سختی کل (۰ تا ۵۰۰ mg/l)، یون کلراید (۰ تا ۱۰۰۰ mg/l و ۰ تا ۲۵۰۰۰ mg/l)، نیتريت (۰ تا ۱۵۰۰ mg/l)، سولفیت (۰ تا ۵۰ mg/l و ۰ تا ۵۰۰ mg/l)، تانن (۰ تا ۲۰۰ mg/l).

نوع دیگر این شیوه، استفاده از قطره‌های معرف است که بر اساس چکاندن تعداد معینی قطره از ماده معرف یک شاخص خاص استوار است. تعدادی کارت رنگ‌سنجی مقایسه‌ای نیز برای برخی از شاخص‌ها تهیه شده‌اند که به دیسک مقایسه‌ای معروفند و بر روی آنها انواع رنگ‌ها مربوط به غلظت‌های مختلف یک شاخص در آب چاپ شده‌اند.

جدول (۸)- شاخص‌های قابل اندازه‌گیری در روش رنگ‌سنجی به کمک قطره‌های معرف

شاخص	دامنه (mg/l)	شاخص	دامنه (mg/l)
سیدیته	۰-۱۲۰۰	قلیائیت	۰-۳۰۰
سختی کلسیمی	۰-۳۰۰ ۰-۶۰۰	دی اکسید کربن	۰-۱۰۰
یون کلراید	۰-۶۰۰	سختی مجموع	۰-۶۰۰
زگنوفسفونات	۰-۳۰	نیتريت	۰-۱۵۰۰
	۰-۶۰۰	تانن	۰-۳۰۰

۲-۲- پتانسیومتری

روشی برای اندازه‌گیری غلظت یا فعالیت یا توان تحرک یون است که در آن بر مبنای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین دو الکترود (الکترود مرجع و الکترود شاخص) محاسبات و برآوردها انجام می‌شوند. پتانسیومتری به دو شیوه عمده انجام‌پذیر است، شیوه مستقیم و شیوه تیتراسیون.

الکترودها نوعی از ابزار اندازه‌گیری هستند که از دو نیمه الکترود با دو جنس متفاوت ساخته شده‌اند و جریان الکتریکی بین آن دو برقرار می‌شود. از الکترودها برای سنجش سه کمیت بهره‌گیری می‌شود: (آ) توان فعالیت یونی^۱ (ب) قدرت اکسیداسیون و احیا^۲ (پ) قابلیت تحرک یونی^۳

در حالت (آ) یک ضربان الکتریکی به وسیله الکترود ایجاد می‌شود که به توان فعالیت یونی در محلول بستگی دارد. در حالت (ب) واکنش اکسیداسیون- احیا ایجاد شده در الکترود، ضربان الکتریکی تولید می‌کند که به غلظت بستگی دارد. در حالت (پ) الکترود قابلیت رسانش الکتریکی محلول را اندازه می‌گیرد که به قابلیت تحرک و غلظت یون‌های موجود در محلول بستگی دارد.

۲-۲-۱- پتانسیومتری مستقیم

در این روش، پتانسیل (ولتاژ) بصورت تقریباً مستقل از جریان ($I = 10^{-12}$ آمپر) نسبت به الکترود مرجع اندازه‌گیری می‌شود. مقدار اندازه‌گیری شده پتانسیل، رابطه مستقیم با غلظت دارد. معمولاً pH و پتانسیل اکسیداسیون- احیا و یون‌های قابل سنجش به وسیله الکترودهای انتخابگر^۴، شاخص‌هایی هستند که به شیوه پتانسیومتری مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند.

۲-۲-۲- پتانسیومتری تیتراسیونی

در این روش، تغییرات پدید آمده در پتانسیل به صورت تقریباً مستقل از جریان ($I = 10^{-12}$ آمپر) اندازه‌گیری می‌گردد. سطح پتانسیل در درجه دوم اهمیت قرار دارد و سرعت و حساسیتی که در آن تغییرات غلظت می‌تواند ثبت گردد، قابل انتخاب می‌باشند. مقدار غلظت مورد نیاز به کمک یک محلول استاندارد تعیین می‌شود. سپس منحنی تغییرات ولتاژ برحسب حجم محلول معرف مصرف شده ترسیم شده و از روی نقاط عطف یا شکست منحنی، غلظت یون مورد نظر از راه محاسبه بدست می‌آید. روش تیتراسیون برای اندازه‌گیری ترکیبات بسیاری از عناصر در حد ppm تا درصد (%) مناسب می‌باشد.

^۱-Ion Activity

^۲-Oxidation and reduction strength

^۳-Ionic mobility

^۴-Ion selective

۲-۳- ولتامتری

روش ولتامتری برای اندازه‌گیری عناصر کمیاب کاربرد خوب و دقت بسیار بالایی دارد. جدول زیر حداقل غلظت قابل اندازه‌گیری عناصر کمیاب توسط این روش را نمایش می‌دهد.

جدول (۹) - مهمترین عناصر قابل ردیابی توسط روش ولتامتری و حداقل غلظت مربوطه

نام	علامت شیمیایی	حداقل غلظت (ppt)
انتیموان	Sb	۵۰۰
آرسنیک	As	۱۰۰
بیسوت	Bi	۵۰۰
کادمیم	Cd	۵۰
کرم	Cr	۲۵
کبالت	Co	۵۰
مس	Cu	۵۰
آهن	Fe	۲۰۰
سرب	Pb	۵۰
جیوه	Hg	۱۰۰
مولیبدن	Mo	۵۰
نیکل	Ni	۵۰
پلاتین	Pt	۰.۱
رودیوم	Rh	۰.۱
تالیوم	Tl	۵۰
تنگستن	W	۲۰۰
اورانیوم	U	۲۵

یک در تریلیون = 1 ppt = 1 ng/kg

روش ولتامتری همچنین برای اندازه‌گیری برخی از ترکیبات خاص آلی مانند ویتامین‌ها، کربوکسی بنزآلندید، استایرن و پاره‌ای از ترکیبات دارویی و آفت‌کش، به علاوه برخی از آنیون‌های مهم مانند سیانید، نیتريت و نیترات هم مناسب و قابل استفاده است.

این روش به وسیله یک مجموعه دو الکترودی بنام «استاند» یک ولت متر، یک کالوانومتر و یک دستگاه ثبت‌کننده، مقادیر جریان عبور کرده از محلول نمونه را در ولتاژهای مختلف ثبت می‌نماید و از روی منحنی تغییرات ولتاژ-جریان و مقایسه آن با نمونه شاهد، نسبت به نوع و غلظت شاخص مورد نظر قضاوت می‌شود.



شکل (۶) - یک مجموعه دستگاه‌های اندازه‌گیری به روش ولتامتری