



NAISL  
Quarterly, 2017  
Volume 1, Number 1  
Pages 43 – 47

# An Introduction to Total Organic Carbon Analyser

Mehri Seyed Hashtroudi\* and Ali Mehdinia

## Abstract

Total organic carbon (TOC) is a chemical parameter which is of great importance in the environmental studies and industries such as pharmaceutical and semiconductor industries. Measurement of TOC provides a rapid method for expressing the organic carbon content of a sample by converting it to carbon dioxide and measurement of the produced CO<sub>2</sub>. This is a non-specific method, because it is unable to distinguish the different organic species which are present in the sample and is merely a representation of the total carbon present in the sample. Due to the importance of TOC, it is essential to use an analyzer capable of this measurement with high accuracy in a short time and cost effective. There are different method for converting of organic carbons to carbon dioxides in which catalytic oxidation in high temperatures and photo-catalytic oxidation are two of the most common used methods. The SGEANATOCTM SERIES II utilizes the oxidation of organic compounds in the presence of titanium dioxide under near UV radiation. TOC is measured in a wide range of 0.5 – 5000 ppm (gC/mL), short time of 3 – 7 min and low cost per analysis. It is capable of TOC analysis in water and sediment samples (after proper digestion procedure).

## Key Words

Total Organic Carbon,  
Water Quality,  
Organic Contaminants,  
Photocatalytic Oxidation,  
SGE TOC Analyzer

(\*)To whom correspondence should be addressed.

...

E-mail: ...

Tel: ...



فصلنامه علمی

سال اول، شماره ۱

صفحات ۴۳ - ۴۷، ۱۳۹۶

# آشنایی با دستگاه اندازه‌گیری کربن آلی کل (TOC Analyzer)

مهری سید هشترودی\* و علی مهدی‌نیا

کربن آلی کل (TOC) پارامتری است که اندازه‌گیری آن در مطالعات محیط زیستی و نیز در صنایع مختلفی نظیر صنعت داروسازی و تولید نیمه هادی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اندازه‌گیری دستگاهی کربن آلی، روشی سریع برای بیان میزان کربن آلی موجود در نمونه به صورت اندازه‌گیری غلظت دی‌اکسید کربن می‌باشد. این روش، یک روش غیراختصاصی است، چرا که قادر به تشخیص بین گونه‌های آلی مختلف موجود در نمونه نمی‌باشد و صرفاً نمایشگر کل ترکیبات کربنی حاضر در نمونه می‌باشد. بدلیل اهمیت TOC، بکارگیری دستگاهی که این اندازه‌گیری را با دقت بالا، در زمان کوتاه و با هزینه مناسب انجام دهد، بسیار مهم است. روش‌های مختلفی برای تبدیل کربن آلی به دی‌اکسید کربن وجود دارد که متداول‌ترین آنان اکسیداسیون در دمای بالا و در حضور کاتالیست و نیز فتواکسیداسیون کاتالیتیک، و آشکارسازی که بیش‌تر در این دستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، آشکارساز مادون قرمز غیر پراکنده (NDIR) است. دستگاه SGE ANATOC™ SERIES II که از تکنیک فتواکسیداسیون در حضور کاتالیست دی‌اکسید تیتانیوم بهره می‌گیرد، آنالیز کربن آلی کل را با محدوده غلظتی بالا  $0.5 \text{ ppm}$  تا  $5000 \text{ ppm}$  ( $\mu\text{gC}/\text{mL}$ )، زمان کوتاه ۷ - ۳ دقیقه و هزینه آنالیز مناسب انجام می‌دهد و قابلیت اندازه‌گیری کربن آلی کل را در نمونه‌های آبی و همین‌طور در رسوبات پس از انجام عملیات هضم دارا می‌باشد.

## چکیده



علی مهدی‌نیا



مهری سید هشترودی

## واژگان کلیدی

کربن آلی کل،

کیفیت آب،

کدبندی پسماندهای شیمیایی

آلاینده‌های آلی،

اکسیداسیون فتوکالتیکی،

دستگاه اندازه‌گیری کربن SGE

(\* مسئول مکاتبات.

پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی

ایمیل: ...

تلفن: ...

مواد آلی کلره نمونه‌هایی از منابع آلاینده سنتزی می‌باشند [۲].

### ۳ اهمیت اندازه‌گیری TOC در محیط‌های آبی طبیعی

اندازه‌گیری مواد آلی در آب همیشه از درجه اهمیت بالایی برای پژوهشگران برخوردار بوده است. با توجه به تنوع بافت‌های مورد مطالعه، اهمیت ترکیبات حل شده و نیز معلق آلی در آب متفاوت است. در سالیان اخیر توجه به بکارگیری شاخص‌های جهانی در بررسی آلودگی و نیز کیفیت آب، روند رو به افزایش داشته است که در این میان کربن آلی کل (TOC) به عنوان شاخص مهمی برای به دست آوردن اطلاعات کمی و کیفی در مورد مقادیر مشخص و نیز روند تغییرات آلودگی و نیز کیفیت آب‌های مورد مطالعه شناخته شده است. در واقع TOC وابسته به منشاء طبیعی و انسانی است که منشاء انسانی برای سلامتی بشر بسیار خطرناک‌تر است که همین مسأله تعیین آن را در تمام منابع آبی از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌سازد [۳]. البته باید در نظر داشت که مقدار TOC بسیار وابسته به نوع آب مورد بررسی است؛ ولی علاوه بر آن به عواملی نظیر دما، شوری، pH، فعالیت میکروبی و پوشش گیاهی نیز بستگی دارد. بنابراین مقادیر آن بسیار متغیر و از  $1\text{ mg/L}$  در آب‌های زیرزمینی و آب دریاها از  $10\text{ mg/L}$  - ۲ در دریاچه‌ها و آب رودخانه‌ها و مقادیر تا  $100\text{ mg/L}$  در مرداب‌ها و غیره می‌باشد.

استاندارد اروپا روش‌هایی را برای تعیین صحیح مقادیر کربن آلی معرفی نموده‌اند. معرف‌ها و روش‌های آماده‌سازی نمونه اکثراً برای آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، آب دریا و فاضلاب با مقادیر TOC بین  $1000 - 0.3$  میلی گرم در لیتر کاربرد دارند، در حالی که مقادیر کمتر فقط برای موارد خاص نظیر آب آشامیدنی یا فوق خالص بکار برده شده در صنایع الکترونیک (ریزپردازشگرها) و دارویی در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین در این‌جا اهمیت استفاده از یک دستگاه حساس و دقیق برای اندازه‌گیری مقادیر TOC مشخص می‌گردد.

### ۴ روش اندازه‌گیری دستگاهی TOC

برای تعیین مقادیر TOC، کربن آلی باید اکسید شده و به  $CO_2$  تبدیل و مقادیر  $CO_2$  توسط آشکارساز اندازه‌گیری گردد. تفاوت

اندازه‌گیری مواد آلی در آب و رسوب، همواره از اهمیت بالایی برای پژوهشگران برخوردار بوده است. خلوص آب در صنایع مختلفی نظیر صنایع دارویی، ساخت نیمه هادی‌ها و نیروگاه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. حضور باکتری‌ها و سایر ترکیبات در آب می‌تواند منجر به ایجاد مشکل در تصفیه، ذخیره و سایر اجزا و سیستم‌ها گردد. مواد تصفیه نشده می‌توانند چالش‌های جدی در تولید، از آسیب به سیستم‌های صنعتی گران قیمت تا تهدید سوددهی تولید را موجب شوند. تشخیص حضور این آلاینده‌های آلی و اندازه‌گیری غلظت آن‌ها می‌تواند به محافظت از مصرف‌کنندگان، صنایع و محیط زیست کمک کند. کربن آلی کل (TOC) در محیط‌های اقیانوسی نیز مهم بوده و شامل کربن آلی معلق (POC) و کربن آلی محلول (DOC) می‌باشد. بررسی زمانی و مکانی کربن آلی و سهم آن در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی موجود در دریا از اهمیت بالایی برخوردار است. البته اندازه‌گیری TOC در آب دریاها و اقیانوس‌ها به دلیل مزاحمت مقادیر بالای نمک کار دشوارتری می‌باشد [۱].

### ۲ آشنایی با مفهوم کربن آلی کل (TOC)

کربن آلی کل میزان کربن موجود در ترکیبات آلی است که اغلب به عنوان یک نشانگر غیراختصاصی کیفیت آب و یا تمیزی تجهیزات تولید خصوصاً در صنایع دارویی می‌باشد. کربن آلی کل معیاری از میزان مولکول‌ها یا آلاینده‌ها در آب تصفیه شده و یا محیط‌هایی نظیر آب دریا می‌باشد. اندازه‌گیری کربن آلی کل یک تکنیک تجزیه‌ای است که به کاربران کمک می‌کند که دریابند که آبی که مورد استفاده قرار می‌دهند از خلوص مورد نیاز فرآیندهای آنان برخوردار باشد. تمامی آب‌ها، فارغ از اینکه چقدر خالص باشند، شامل مقداری از مواد کربنی می‌باشند. بسیاری از این مواد از طریق منبع اصلی آب و یا از مواد و سیستم‌های تصفیه و تولید، وارد آب می‌شوند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند مستقیماً از طریق نیروی کار درگیر در فرآیند تولید وارد آب شوند. این مواد ممکن است شامل محصولات طبیعی و تغییر یافته سیستم‌های زنده یا انسان‌ساز و مواد سنتزی باشند. هیومیک اسیدها، اوره، فولویک اسید و آمین‌ها مثال‌هایی از مواد آلی طبیعی می‌باشند. بعضی از مواد شوینده، آفت کش‌ها، کودها، علف کش‌ها، مواد شیمیایی صنعتی و



مقالات علمی

راکتور فتوکاتالیتیکی می‌شود و در آنجا با دوغاب دی‌اکسید تیتانیوم در حضور منبع نور UV مخلوط می‌گردد.

در این شرایط، هر کربن آلی پیوندی موجود در نمونه به سرعت اکسید می‌شود. دی‌اکسید کربنی که طی این فرآیند تشکیل می‌گردد از داخل یک کندانسور عبور می‌کند و سپس از طریق حلقه بسته سیرکوله می‌شود. یک آشکارساز دو طول موج مادون قرمز غیر پراکنده افزایش میزان دی‌اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون را اندازه می‌گیرد. در هنگام کامل شدن فرآیند اکسیداسیون، دی‌اکسید کربن در سیستم به تعادل می‌رسد. نتیجه این آنالیز محاسبه شده و گزارش می‌شود. سیستم حلقه بسته تهویه شده و سطح دی‌اکسید کربن به مقدار پایه محیط می‌رسد و دستگاه آماده آنالیز بعدی می‌گردد [۵].

دستگاه‌های تجاری موجود برای اندازه‌گیری TOC در فرآیند اکسید نمودن و نیز نوع آشکارساز آن‌ها می‌باشد. فرآیند اکسیداسیون به طور کلی توسط دو روش قابل انجام است: سیستم پیرولیز در حرارت بالا و سیستم فتوشیمیایی در حرارت پایین. در دستگاه‌های اندازه‌گیری TOC معمولاً از دو نوع آشکارساز برای تعیین مقادیر  $CO_2$  استفاده می‌شود: آشکارساز مادون قرمز غیر پراکنده (NDIR) و آشکارسازهای هدایتی. آشکارسازهای NDIR که شامل یک منبع نور، سل و یک قسمت آشکارسازی هستند، به دلیل ثبات و کمتر بودن تداخلات نسبت به آشکارسازهای هدایتی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته هر دو نوع آشکارساز نسبت به تداخلات ناشی از تغییرات pH و دما حساس هستند [۴].

### ۶ کارایی و مزایای دستگاه

- استفاده از روش فتوکاتالیتیک برای تجزیه ترکیبات آلی و تبدیل آنان به گاز  $CO_2$
- استفاده از آشکارساز با فیلتر دوتایی NDIR برای حذف مزاحمت‌های زمینه
- دارا بودن راکتور فتوکاتالیتیک
- محدوده وسیع آنالیز TOC ( $ppm$  ۵۰۰۰ - ۰٫۵)
- آنالیز نمونه در زمان سریع حدود ۷ - ۳ دقیقه
- عدم نیاز به کاتالیست‌های گران قیمت و معرف‌های خطرناک
- عدم نیاز به گاز
- سهولت کار با دستگاه
- ایمنی کار با دستگاه به دلیل دمای کارکرد پایین و عدم استفاده از ترکیبات خطرناک

### ۷ پارامترهای قابل اندازه‌گیری با دستگاه

طراحی ویژه این دستگاه امکان اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی، شامل موارد زیر را فراهم می‌سازد:



### ۵ دستگاه اندازه‌گیری کربن آلی SGE ANATOC™ SERIES II

شکل بالا تصویر یک دستگاه اندازه‌گیری کربن ساخت شرکت استرالیایی SEG را نمایش می‌دهد. در این دستگاه از فرآیند اکسیداسیون کاتالیتیک در حضور نور فرابنفش برای تبدیل کربن آلی به گاز دی‌اکسید کربن استفاده می‌شود. کاتالیست مورد استفاده در این دستگاه دی‌اکسید تیتانیوم می‌باشد. طرز کار کلی دستگاه بدین شرح است:

هوا به طور پیوسته در یک حلقه بسته می‌چرخد و از داخل راکتور عبور می‌کند تا اکسیژن مورد نیاز را فراهم سازد. نمونه مستقیماً وارد



قرار می‌دهد. همانگونه که به طور مشروح توضیح داده شد، این پارامتر توسط دستگاه اندازه‌گیری کربن کل مورد سنجش قرار می‌گیرد که به طور معمول دو روش اکسیداسیون حرارتی و نوری استفاده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای یک دستگاه مناسب، راحتی کار با دستگاه، دقت بالای اندازه‌گیری، محدوده وسیع غلظت‌های مورد اندازه‌گیری، زمان کوتاه آنالیز و نیز هزینه مناسب آن می‌باشد. دستگاه SGE ANATOC™ SERIES II با دارا بودن خصوصیات ذکر شده، یک از سیستم‌های مناسب و توانمند برای اندازه‌گیری میزان کربن آلی کل در نمونه‌های آبی طبیعی و صنعتی می‌باشد.

### مراجع

- [1] Laodong, G., and Peter H. Santschi., 1997 "Measurement of dissolved organic carbon (DOC) in sea water by high temperature combustion method." Acta Oceanol. Sin 16 pp. 339-353.
- [2] Hendricks, David W., 2007. Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical. Boca Raton, FL: CRC Press, , pp 44-62.
- [3] Smith, K.A., Cresser M.S., 2000. Soil and environmental analysis: Modern Instrumental Technique, 3<sup>rd</sup> Eds. MARCEL DEKKER, INC, New York.
- [4] Bisutti, I., Hilke, I. and Raessler, M., 2004. Determination of total organic carbon—an overview of current methods. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 23(10), pp.716-726.
- [5] ANATOC™ SERIES II, Publication No. PD-0180-E Rev:03 2003/01.

۱. کربن کل (TC): این پارامتر مجموعه مقادیر کربن معدنی و کربن آلی کل موجود در یک نمونه است.

۲. کربن معدنی کل (TIC): کربن معدنی معمولاً شامل مخلوطی از کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها و دی‌اکسید کربن محلول می‌باشد. ممکن است در نمونه‌ای که دارای مقادیر ناچیزی از TOC باشد، مقدار کربن معدنی بسیار بالا بوده و باید اندازه‌گیری شود.

۳. کربن آلی کل (TOC): مواد به دست آمده از تجزیه گیاهان، رشد باکتری و فعالیت‌های متابولیکی موجودات زنده و نیز مواد شیمیایی نظیر آلایندها.

۴. کربن آلی قابل دمیدن (POC): بعضی اوقات کربن آلی فرار نیز نامیده می‌شود که به هرگونه کربن آلی اطلاق می‌شود که با ورود گاز بی اثر قابل خارج کردن هستند.

۵. کربن آلی غیر قابل دمیدن (NPOC): کربن آلی باقی مانده در نمونه اسیدی شده پس از عبور گاز از نمونه.

### ۸ نتیجه‌گیری

کربن آلی کل (TOC) یک نشانگر غیراختصاصی از وضعیت آب موجود در محیط‌های طبیعی و نیز صنعتی است که اطلاعات کلی در مورد محتوای کربن آلی موجود در آب یا رسوب در اختیار محققین

