

فصل ۳

تضمین کیفیت

۱- مقدمه

در این فصل سعی شده است تا به برخی از اصول کلی تضمین کیفیت تجزیه‌ای متناسب با اندازه گیری پارامترهای دی‌اکسید کربن اقیانوسی اشاره شود. کاربردهای خاص کنترل کیفیت تجزیه‌ای به عنوان بخشی از روش‌های عملیاتی استاندارد مجزا در فصل ۴ با جزئیات بیشتری بیان شده است. تضمین کیفیت شامل سامانه‌ای است که یک آزمایشگاه به وسیله آن می‌تواند به مشتریان و استفاده کنندگان خارجی اطمینان دهد که داده‌های تولید شده توسط آزمایشگاه از کیفیت تایید شده و مشخصی برخوردار است (Dux, 1990). در گذشته، کیفیت اکثر داده‌های کربن اقیانوسی به میزان تجربه و توجه شخص تجزیه‌گر بستگی داشت. یک برنامه رسمی تضمین کیفیت برای ایجاد و توسعه مجموعه‌ای جهانی از داده‌های کربن اقیانوسی نیاز است که وابسته به ثبات بین اندازه‌گیری‌هایی است که توسط تعداد زیادی از آزمایشگاه‌ها در گستره وسیع زمانی انجام می‌شود. چنین برنامه‌ای در طول "آزمایش چرخه جهانی اقیانوس‌ها" (WOCE) و "مطالعه مشترک شار جهانی اقیانوس‌ها" (JGOFS) همانطور که در نسخه اولیه این دستورکار (۱۹۹۴) ذکر شد، آغاز گردید. یک برنامه تضمین کیفیت شامل دو فعالیت مجزای مرتبط است، کنترل کیفیت و ارزیابی کیفیت (Taylor, 1987):

کنترل کیفیت - سامانه کلی فعالیت‌هایی است که هدف آن کنترل کیفیت یک اندازه‌گیری است تا نیازهای مصرف کننده را برآورده کند. هدف این است که اطمینان حاصل شود داده‌های تولید شده با یک درجه اطمینان مشخص دارای صحت معین و از پیش تعیین شده‌ای است و بنابراین، کیفیت راضی کننده، قابل اعتماد و مقصدانه‌ای را برای مصرف کننده ایجاد می‌کند.

ارزیابی کیفیت - سامانه کلی فعالیت‌هایی است که هدف آن ایجاد ضمانت برای انجام موثر فرآیند کنترل کیفیت است. پایش پیوسته کیفیت آنالیزها و عملکرد سامانه تجزیه‌ای، نتیجه ارزیابی کیفیت است.

۲- کنترل کیفیت

هدف از کنترل کیفیت، ایجاد یک سامانه اندازه‌گیری پایدار است به نحوی که ویژگی‌های آن با استفاده از روش‌های آماری قابل بررسی باشد، یعنی اندازه‌گیری "تحت کنترل" باشد. همه مواردی که می‌توانند فرایند اندازه‌گیری را تحت تاثیر قرار دهند، باید بهینه سازی شوند و چنانچه قرار است اندازه‌گیری‌های تکثیرپذیری انجام شوند پارامترهای تاثیرگذار باید تا حد لازم ثابت نگه داشته شوند. کیفیت

۱- طرح اجمالی چگونگی بنیانگذاری یک برنامه تضمین کیفیت رسمی برای یک آزمایشگاه تجزیه‌ای توسط Dux (۱۹۹۰) توضیح داده شده است. اطلاعات مفید اضافی را می‌توان در کتاب Taylor (۱۹۸۷) یافت.

یک اندازه‌گیری می‌تواند تحت تاثیر چندین فاکتور قرار گیرد که به طور کلی در سه دسته قرار می‌گیرند (Taylor & Oppermann, 1986): شیوه‌های مدیریت، آموزش پرسنل و عملیات فنی

اگرچه تاکید بر کیفیت توسط مدیر آزمایشگاه همراه با قابلیت‌های فردی و آموزش شخص تجزیه‌گر برای تولید داده‌های با کیفیت بالا ضروری است (این مراجع را مشاهده کنید: (Taylor and Oppermann, 1986; Taylor, 1987; Vijverberg and Cofino, 1987; Dux, 1990)

با این حال، این جنبه کنترل کیفیت در اینجا بحث نمی‌شود. در این کتاب تاکید بر مستندسازی دستورکارهای استاندارد است به نحوی که تمام عملیات فنی تحت شرایط ثابت و مطمئن انجام شود.

اولین لازمه کنترل کیفیت استفاده از ابزار و دستگاه‌هایی است که در وضعیت مناسبی نگهداری شده‌اند. چنین تجهیزاتی همراه با استفاده از شیوه‌های آزمایشگاهی خوب (GLPs)، شیوه‌های اندازه‌گیری خوب (GMPs) و روش‌های عملیاتی استاندارد (SOPs) تکمیل می‌شوند.

GLPها به عملیات کلی مرتبط با بسیاری از اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه اشاره دارد، مانند نگهداری ابزار و تجهیزات، یادداشت‌ها، نحوه مدیریت نمونه‌ها، کنترل و ذخیره مواد شیمیایی و تمیز سازی شیشه آلات آزمایشگاهی. GMPها مخصوص تکنیک‌ها هستند. هر دو دسته GLPها و GMPها توسط هر آزمایشگاه توسعه داده شده و مستندسازی می‌شوند تا همه عملیات مهمی که می‌تواند منجر به نوسانات و یا خطای معین در نتایج شود، شناخته شوند.

روش‌های عملیاتی استاندارد (SOPs) نحوه انجام عملیات خاص یا روش‌های تجزیه‌ای را بیان می‌کنند. این روش‌ها شامل دستور العمل‌های مستندی هستند که به طور کامل روش کاری را که یک تجزیه‌گر باید انجام دهد تا نتایج دلخواه را به دست آورد، توضیح می‌دهند. در SOPهایی که به خوبی نوشته شده‌اند، محدوده قابل تحمل برای تمام پارامترهای اصلی و تاثیرگذار که لازم است جهت به دست آوردن نتایج با صحت مورد نظر کنترل شوند، آورده شده است. این کتاب مشتمل بر تعدادی از این SOPهاست که بسیاری از آنها از اوایل دهه ۱۹۹۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند و با افزایش تجربیات و پیشرفت فن‌آوری اصلاح شده‌اند. [در ادامه، برای تسهیل در ترجمه از عبارت "دستورکار" به جای "روش عملیاتی استاندارد" استفاده شده است].

۳- ارزیابی کیفیت

یکی از بخش‌های کلیدی برنامه تضمین کیفیت، ارزیابی آماری کیفیت داده‌های خروجی است (دستورکارهای ۲۲ و ۲۳ را ببینید). برای ارزیابی کیفیت، هم روش‌های درونی و هم بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرند (جدول ۱). اغلب این روش‌ها بسیار واضح بوده و نیازی به توضیح ندارند. برخی از این روش‌ها در ادامه با جزئیات بیشتری توضیح داده می‌شوند.

جدول ۱- روش های ارزیابی کیفیت (Taylor,1987).

<p>روش های درونی</p> <p>اندازه گیری های تکراری</p> <p>نمونه های آزمایشی داخلی</p> <p>نمودارهای کنترل</p> <p>تعویض اشخاص تجزیه گر</p> <p>تعویض تجهیزات</p> <p>اندازه گیری های مستقل</p> <p>اندازه گیری از طریق روش های قطعی</p> <p>ممیزی</p>
<p>روش های بیرونی</p> <p>تست های بین آزمایشگاهی</p> <p>تبادل نمونه ها</p> <p>مواد مرجع بیرونی</p> <p>مواد مرجع تصدیق شده</p> <p>ممیزی</p>

۳-۱ - روش های درونی

اندازه گیری تعداد مناسبی از نمونه های تکراری (نمونه های دوتایی)، برآوردی از دقت را به دست می دهد که برای به حداقل رساندن حجم عملیات آماده سازی قبل از گشت دریایی نیاز است و از طرفی تمام سوالات در مورد مناسب بودن نمونه ها را حذف می کند. به عنوان مثال در طول یک لگ (Leg) در گشت دریایی، باید حداقل ۱۲ نمونه دوتایی در زمان ها و مکان های مختلف آنالیز شود تا بتوان یک انحراف استاندارد با اطمینان قابل قبولی به دست آورد. در حالت ایده آل و در صورت امکان بهتر است در ۱۰٪ از موقعیت های نمونه برداری، نمونه های دوتایی جمع آوری و آنالیز شوند (به عنوان مثال، در یک نمونه بردار روزت با ۳۶ بطری آب، ۳ نمونه دوتایی برداشته می شود). در مواردی که از چند دستگاه به طور همزمان برای افزایش سرعت آنالیز نمونه ها استفاده می شود، آنالیز نمونه های تکراری بر روی هر دو دستگاه می تواند اطلاعات مفیدی را برای مستندسازی کالیبراسیون های بین دستگاهی ایجاد کند.

یک محلول آزمایشی درونی با پایداری قابل قبول را نیز می توان برای برآورد دقت (و صحت، اگر مقدار واقعی پارامتر مربوط به این محلول با صحت قابل قبولی مشخص باشد) مورد استفاده قرار داد. به عنوان مثال، آنالیز مکرر نمونه های برداشت شده از یک ظرف بزرگ حاوی آب عمیق اقیانوس برای بررسی تکثیرپذیری اندازه گیری های قلیائیت کل به کار می رود. سوابق داده های یک آزمایشگاه برای

آنالیز یک محلول آزمایشی مشخص را می‌توان برای ترسیم یک نمودار کنترل و بررسی و پایش دقت اندازه‌گیری، مورد استفاده قرار داد.^۲

یک آزمایشگاه همچنین باید ممیزی‌های منظمی را انجام دهد تا اطمینان حاصل شود که برنامه تضمین کیفیت آن به نحو مناسبی اجرا شده و مستندات لازم جمع‌آوری و نگهداری می‌شود.

۳-۲- روش‌های بیرونی

یک مدرک بیرونی برای کیفیت فرایند اندازه‌گیری به چندین دلیل، مهم به نظر می‌رسد. اول، بهترین روش برای حصول اطمینان از تطابق اندازه‌گیری‌ها با آزمایشگاه‌های دیگر است. دوم، خطاهایی در طول زمان حادث می‌شوند که ارزیابی‌های درونی قادر به تشخیص آن‌ها نیست. روش‌های ارزیابی کیفیت بیرونی باید به عنوان روش‌های مکمل (نه جایگزین) برنامه ارزیابی کیفیت درونی آزمایشگاه، مورد استفاده قرار گیرند.

انجام تست‌های بین آزمایشگاهی این فرصت را فراهم می‌کند که عملکرد آزمایشگاه با عملکرد آزمایشگاه‌های دیگر مقایسه شود. اگر مقادیر نمونه‌های مورد آزمایش با صحت بالایی مشخص باشد، خطای معین هر آزمایشگاه قابل محاسبه است. چنین فعالیتی به عنوان بخشی از برنامه پایش دی اکسید کربن WOCE/JGOFS سازماندهی شد و ابزار مفیدی را برای تخمین کیفیت کلی داده‌ها فراهم کرد (Dickson, 2001; Feely *et al.*, 2001). تبادل نمونه‌ها یا محلول‌های آزمایشی درونی با آزمایشگاه‌های دیگر نیز می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد توافق و یا تفاوت‌های معین موجود بین آزمایشگاه‌های مختلف به وجود آورد.

در مواردی که مواد مرجع دردسترس باشد، بهترین روش ارزیابی توانمندی یک روش اندازه‌گیری، استفاده از این مواد است. در حقیقت مواد مرجع، مواد پایداری هستند که یک یا چند ویژگی مربوط به آنها کاملاً مشخص شده و برای کالیبراسیون یک آنالیزور شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته و یا برای معتبرسازی یک فرایند اندازه‌گیری به کار گرفته می‌شوند (Taylor, 1987). به طور ایده‌آل، بافت این مواد باید شبیه به بافت نمونه‌های حقیقی مورد سنجش باشد که در اینجا منظور آب دریاست. مفیدترین نوع مواد مرجع موادی هستند که یک یا چند ویژگی آنها با صحت بسیار بالایی توسط دو یا چند تجزیه‌گر با یک روش قطعی و مطمئن "تصدیق" شده باشد. با استفاده از مواد مرجع تمام فرایند اندازه‌گیری، مورد آزمایش قرار می‌گیرد (به‌جز مرحله نمونه‌برداری).

۲- در موارد قابل توجهی عبارت‌های "صحت" و "دقت" به جای یکدیگر به اشتباه به کار برده می‌شوند. دقت معیاری از میزان تکثیرپذیری یک روش آزمایشی خاص است. دقت را می‌توان برای یک مرحله خاص از روش کار مثلاً مرحله آنالیز نهایی، و یا برای کل یک فرایند اندازه‌گیری شامل نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه و آنالیز، محاسبه و ارائه کرد. برای محاسبه دقت، نمونه‌های تکراری را آنالیز کرده و از روی نتایج حاصل، مقدار میانگین و انحراف استاندارد به دست می‌آید. صحت، معیاری از نزدیکی مقدار به دست آمده از طریق اندازه‌گیری، به مقدار واقعی است. نتایج به دست آمده از یک روش با صحت بالا تفاوتی با مقدار واقعی ندارد. محاسبه این پارامتر به مراتب از محاسبه دقت سخت‌تر است. این پارامتر تنها با توجه کافی به منابع احتمالی خطای معین، قابل استنتاج است.

بنیاد ملی علوم آمریکا برای تولید و توسعه مواد مرجع تصدیق شده (CRMs) برای اندازه‌گیری پارامترهای CO₂ بودجه‌ای را در نظر گرفت (Dickson, 2001): دپارتمان انرژی آمریکا با تهیه و در اختیار قرار دادن CRMها برای شرکت کنندگان (آمریکایی و غیرآمریکایی) در برنامه پایش دی اکسید کربن WOCE/JGOFS، ایستگاه‌های پایش دائمی زمانی در هاوایی و برمودا و سایر برنامه‌های JGOFS، باعث گسترش کاربرد مواد مرجع تصدیق شده گردید (Feely et al., 2001). در دهه گذشته، مواد مرجع تولید شده توسط موسسه اقیانوس‌شناسی اسکریپس به عنوان ابزار ارزشمندی برای ارزیابی کیفیت اندازه‌گیری‌ها بوده و هم اکنون نیز توسط جامعه کربن اقیانوسی مورد استفاده قرار می‌گیرد^۳. ما استفاده از این مواد را در هر یک از دستورکارها توصیه می‌کنیم (جدول ۲ را برای مشاهده وضعیت تصدیق آنها مشاهده کنید). در حالت ایده آل، CRMها را باید هر زمانی که یک قطعه از دستگاه اندازه‌گیری تعویض می‌شود، آنالیز کرد (به عنوان مثال برای هر سل جدید کولومتری در اندازه‌گیری C_T و یا حداقل یک بار در روز). در صورتی که منابع محدود باشد، بهتر است حداقل ۱۲ نمونه CRM را در طول دوره انجام آنالیزهای یک گشت دریایی با فواصل زمانی مناسب آنالیز کنید تا یک مقدار میانگین با حداقل میانان قابل قبولی به دست آید.

جدول ۲- وضعیت فعلی (۲۰۰۷) مواد مرجع تصدیق شده برای کنترل کیفیت اندازه‌گیری‌های دی‌اکسید

کربن اقیانوسی

پارامتر مورد اندازه‌گیری	صحت مطلوب ^{الف}	تصدیق
کربن معدنی محلول کل	$\pm 1 \mu\text{mol kg}^{-1}$	از سال ۱۹۹۱
قلیائیت کل	$\pm 1 \mu\text{mol kg}^{-1}$	از سال ۱۹۹۶ ^ب
pH	± 0.02	ج
$f(\text{CO}_2)$	$0.05 \text{ Pa} (0.5 \mu\text{atm})$	د

الف- بر اساس ملاحظات انجام شده در گزارش کارگروه SCOR ۷۵ (SCOR, 1985). این مقادیر مطلوب، انعکاس دهنده هدف اندازه‌گیری‌ها مبنی بر تشخیص تأثیرات ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بر تغییرات مقدار CO₂ در آب دریا می‌باشد.

ب- برخی از نمونه‌های قدیمی‌تر نیز برای اندازه‌گیری قلیائیت کل در آن زمان تصدیق شدند.

ج- pH مواد مرجع را می‌توان از طریق محاسبات با استفاده از اندازه‌گیری‌های کربن معدنی محلول کل و قلیائیت کل به دست آورد. همچنین محلول‌های بافر بر اساس TRIS در آب دریای سنتزی را می‌توان به عنوان ماده مرجع تصدیق شده برای اندازه‌گیری pH به کار برد، ولی تاکنون این کار به طور گسترده و منظم انجام نشده است.

۳- از آدرس زیر قابل تهیه است:

Dr. Andrew G. Dickson, Marine Physical Laboratory, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, 9500 Gilman Drive, La Jolla, CA 92093-0244, U.S.A. (fax: 1-858-822-2919; email:co2crms@ucsd.edu; http://andrew.ucsd.edu/co2qc/).

د- مواد مرجع "CO₂ در هوا" از منابع مختلفی قابل تهیه است. با این حال مطلوب‌ست برای اندازه‌گیری $f(\text{CO}_2)$ از آب دریای استریل به‌عنوان ماده مرجع استفاده شود، از آنجایی که ثابت شده است که مواد مرجع تصدیق شده برای pH ، A_T ، C_T و پایداری خوبی دارند، به نظر می‌رسد که این مواد نسبت به $f(\text{CO}_2)$ نیز باید پایدار باشند، با این حال، هنوز روش مستقل و قابل اعتمادی برای تعیین مقدار $f(\text{CO}_2)$ به طوری که تصدیق مناسبی برای این نوع اندازه‌گیری باشد، توسعه نیافته است.

۴- کالیبراسیون اندازه‌گیری‌های دما

اندازه‌گیری دما با صحت بالا در بسیاری از دستورکارهای این کتاب راهنما از اهمیت زیادی برخوردار است، با این حال، هنوز در مواردی مشاهده شده است که کالیبراسیون پروب‌های مختلف دمایی که مورد استفاده قرار گرفته‌اند، آن‌طور که باید مورد توجه قرار نگرفته است. برای دستیابی به صحت بالا، لازم است که همه حسگرهای دمایی با یک استاندارد معین کالیبره شوند. در طول کالیبراسیون حسگر دمایی، فقط پایداری کوتاه مدت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پایداری و ثبات بلند مدت باید توسط کاربر با استفاده از استانداردهایی با صحت بالاتر در دوره‌های زمانی منظمی ارزیابی و مقایسه گردد. تکرار و تعدد چنین ارزیابی‌هایی به صورت تجربی و با اطلاع از میزان احتمال بروز اشکال در بسیاری از پروب‌های دمایی، تعیین می‌شود.

در حال حاضر مقیاس رسمی دمایی مورد استفاده مقیاس دمای بین‌المللی ۱۹۹۰ است ^۴(ITS-90). این مقیاس، "دمای ترمودینامیکی" را در گستره وسیعی از دماها به خوبی نشان می‌دهد و بهترین و اولین مقیاسی است که در عمل قابل کاربرد و راستی‌آزمایی است، به این مفهوم که دماهایی را به نقاط ثابت خاص اختصاص می‌دهد، مثلاً نقطه سه‌گانه آب: (۰/۰۱ °C) یا ۲۷۳/۱۶K، یا نقطه سه-گانه گالیم: (۲۹/۷۶۴۶ °C) یا ۳۰۲/۹۱۴۶ K و سپس معادلات درونی مناسبی را بر اساس رفتار "دماسنج استاندارد مقاومت پلاتین" تعریف و مورد استفاده قرار می‌دهد (در گستره دماهای معمول اقیانوس‌شناسی).

معمولاً، پروب‌های دماسنج مورد استفاده^۵، در یک محیط با دمای ثابت قرار گرفته (مثلاً در یک حمام آب با کنترل دما) و مقادیر به‌دست آمده از آن‌ها با مقادیر حاصل از یک دماسنج استاندارد که کالیبراسیون آن قابل ردیابی به ITS-90 باشد، مقایسه می‌شود و با انجام چنین آزمایشی در چند دمای مختلف در محدوده کاری مطلوب، کالیبره می‌شوند. بهتر است عدم قطعیت دماسنج استاندارد چهار برابر کوچکتر از عدم قطعیت مطلوب در کالیبراسیون پروب‌های دماسنج باشد. دماسنج استاندارد معمولاً هر سال توسط ابزار کالیبراسیون معتبری کالیبره می‌شود. پایداری پروب را می‌توان با پایش عملکرد آن در یک دما مورد بررسی قرار داد. (همانطور که در بخش بعدی عنوان شده است، برای اهداف تضمین

۴- برای کسب اطلاعات بیشتر به سایت زیر مراجعه کنید:

<http://www.its-90.com>

۵- برای اندازه‌گیری‌های با کیفیت بالا باید دانست که آنچه مورد نیاز است فقط کالیبراسیون پروب دماسنج نیست بلکه تمام سامانه اندازه‌گیری دما (پروپ و نمایشگر) باید کالیبره شود.

کیفیت، مستند سازی کالیبراسیون هر یک از دماسنج‌های مورد استفاده در این کتاب راهنما، بسیار مهم است.)

۵- مستندسازی

یکی از جنبه‌های تضمین کیفیت که شایسته تاکید است، فرآیند مستندسازی است. همه داده‌ها باید از نظر فنی با دلایل و شواهد محکم و مطمئن حمایت شوند. در حالی که استفاده از روش‌های قابل اطمینان و آزمایش شده مانند روش‌هایی که در فصل ۴ توصیف شده‌اند، مهمترین بخش کنترل کیفیت است، با این وجود عدم مستندسازی مناسب می‌تواند منجر به ایجاد تردید در شایستگی فنی و قابل دفاع بودن نتایج شود. بنابراین، یادداشت‌ها و مستندات دقیقی باید شامل موارد زیر باشد:

- زمان انجام اندازه‌گیری (تاریخ و ساعت نمونه‌برداری، تاریخ و ساعت اندازه‌گیری نمونه و در موارد خاص سن زمین شناختی نمونه)؛
- مکان انجام اندازه‌گیری (طول و عرض جغرافیایی محل نمونه‌برداری از لیست رسمی ایستگاه-ها)؛
- موارد اندازه‌گیری شده (پارامترها یا متغیرهای مورد اندازه‌گیری به همراه واحد آنها)؛
- چگونگی انجام اندازه‌گیری (تجهیزات، کالیبراسیون، روش کار و غیره، با اشاره به مراجع در صورت امکان)؛
- کسی که اندازه‌گیری را انجام داده است (نام و موسسه مجری اصلی)؛
- مقالات و گزارش‌های مربوطه (در دست تهیه یا ارسال شده به مجلات)؛
- داده‌های حاصل؛
- محاسبات؛
- پشتیبانی تضمین کیفیت؛
- گزارش داده‌های مرتبط.

اگرچه تجزیه‌گرهای خوب چنین مستند سازی کاملی را در شبکه‌های محدود بین آزمایشگاهی انجام داده‌اند، ولی تجربه جدید اشتراک‌گذاری داده‌ها و ایجاد آرشیو داده‌ها در مرکز داده‌های ملی و جهانی نیازمند تبدیل این اطلاعات (فرا داده‌ها) به نسخه‌های الکترونیکی در کنار داده‌های اصلی است. در صورت فقدان نسخه الکترونیکی فراداده‌ها برای مستند سازی روش‌ها و پروتکل‌های QA/QC، داده‌های اصلی استفاده محدودی خواهند داشت. چالش مستندسازی تغییرات سامانه زمین که مدت‌ها پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها وجود داشته است، این نیاز را ایجاد می‌کند که داده‌های جمع‌آوری شده در زمان‌ها و مکان‌های مختلف، قابل مقایسه باشند و داده‌های آرشیو شده به قدری خوب مستندسازی شده باشند که تا چندین دهه و حتی بیشتر قابل استفاده باشند.

۶- مراجع

- Dickson, A.G. 2001. Reference materials for oceanic CO₂ measurements. *Oceanography* **14**: 21–22.
- Dickson, A.G., Afghan, J.D. and Anderson, G.C. 2003. Reference materials for oceanic CO₂ analysis: a method for the certification of total alkalinity. *Mar. Chem.* **80**: 185–197.
- Dux, J.P. 1990. Handbook of Quality Assurance for the Analytical Chemistry Laboratory, 2nd edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 203 pp.
- Feely, R.A., Sabine, C.L., Takahashi, T. and Wanninkhof, R. 2001. Uptake and storage of carbon dioxide in the ocean: The global CO₂ survey. *Oceanography* **14**: 18–32.
- SCOR. 1985. Oceanic CO₂ measurements. Report of the third meeting of the Working Group 75, Les Houches, France, October 1985.
- Taylor, J.K. (1987) Quality Assurance of Chemical Measurements. Lewis Publishers, Chelsea, 328 pp.
- Taylor J.K. and Oppermann, H.V. 1986. Handbook for the quality assurance of metrological measurements. National Bureau of Standards Handbook 145.
- UNESCO. 1991. Reference materials for oceanic carbon dioxide measurements. UNESCO Tech. Papers Mar. Sci. No. 60.
- Vijverberg F.A.J.M. and Cofino, W.P. 1987. Control procedures: good laboratory practice and quality assurance. ICES Techniques in Marine Science No. 6.

مترجم:

دکتر ابوالفضل صالح

پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی

saleh@inio.ac.ir