

4500-O₃ OZONE (RESIDUAL)*

4500-O₃ A. Introduction

1. Sources

Ozone, a potent germicide, is used also as an oxidizing agent for the oxidation of organic compounds that produce taste and odor in drinking water, for the destruction of organic coloring matter, and for the oxidation of reduced iron or manganese salts to insoluble oxides.

2. Selection of Method

Ozone residual in water is determined by the indigo method. Residual ozone decays rapidly. Depending on water quality, the

ozone residual half-life may be several seconds to a few minutes. Methods also are available for determining ozone in process gases.^{1,2}

3. References

1. RAKNESS, K.L., G. GORDON, B. LANGLAIS, W. MASSCHELEIN, N. MATSUMOTO, Y. RICHARD, C.M. ROBSON & I. SOMIYA. 1996. Guideline for measurement of ozone concentration in the process gas from an ozone generator. *Ozone: Sci. Eng.* 18:209.
2. RAKNESS, K.L., L.D. DEMERS, B.D. BLANK & D.J. HENRY. 1996. Gas phase ozone concentration comparisons from a commercial UV meter and KI wet-chemistry tests. *Ozone: Sci. Eng.* 18:231.

* Approved by Standard Methods Committee, 1997. Editorial revisions, 2011. Joint Task Group: 20th Edition—Kerwin Rakness (chair), Leo C. Fung, Gilbert Gordon, Jill T. Granith, Willy J. Masschelein, Lawrence K. Wang.

4500-O₃ B. Indigo Colorimetric Method

1. General Discussion

The indigo colorimetric method is quantitative, selective, and simple; it replaces methods based on the measurement of total oxidant. The method is applicable to lake water, river infiltrate, manganese-containing groundwaters, extremely hard groundwaters, and even biologically treated domestic wastewaters.

a. Principle: In acidic solution, ozone rapidly decolorizes indigo. The decrease in absorbance is linear with increasing concentration. The proportionality constant at 600 nm is $0.42 \pm 0.01/\text{cm}/\text{mg/L}$ ($\Delta E = 20\,000/M \cdot \text{cm}$) compared to the ultraviolet absorption of pure ozone of $E = 2950/M \cdot \text{cm}$ at 258 nm.¹

b. Interferences: Hydrogen peroxide (H₂O₂) and organic peroxides decolorize the indigo reagent very slowly. H₂O₂ does not interfere if ozone is measured in less than 6 h after adding reagents. Organic peroxides may react more rapidly. Fe(III) does not interfere. Mn(II) does not interfere but it is oxidized by ozone to forms that decolorize the reagent. Correct for this decolorization by making the measurement relative to a blank in which the ozone has been destroyed selectively. Without the corrective procedure, 0.1 mg/L ozonated manganese gives a response of about 0.08 mg/L apparent ozone. Chlorine also interferes. Low concentrations of chlorine (<0.1 mg/L) can be masked by malonic acid. Bromine, which can be formed by oxidation of Br⁻, interferes (1 mole HOBr corresponds to 0.4 mole ozone). In the presence of HOBr or chlorine in excess of 0.1 mg/L, an accurate measurement of ozone cannot be made with this method.

c. Minimum detectable concentration: For the spectrophotometric procedure using thermostated cells and a high-quality photometer, the low-range procedure will measure down to 2 μg

O₃/L. The practical lower limit for residual measurement is 10 to 20 μg/L.

d. Sampling: React sample with indigo as quickly as possible, because the residual may decay rapidly. Avoid loss of ozone residual due to off-gassing during sample collection. Do not run sample down side of flask. Add sample so completely decolorized zones are eliminated quickly by swirling or stirring.

e. Quality control (QC): The QC practices considered to be an integral part of each method are summarized in Table 4020:I.

2. Apparatus

Photometer: Spectrophotometer or filter colorimeter for use at 600 ± 10 nm.

3. Reagents

a. Indigo stock solution: Add about 500 mL distilled water and 1 mL conc phosphoric acid to a 1-L volumetric flask. With stirring, add 770 mg potassium indigo trisulfonate, C₁₆H₇N₂O₁₁S₃K₃ (use only high-grade reagent, commercially available at about 80 to 85% purity). Fill to mark with distilled water. A 1:100 dilution exhibits an absorbance of 0.20 ± 0.010 cm at 600 nm. The stock solution is stable for about 4 months when stored in the dark. Discard when absorbance of a 1:100 dilution falls below 0.16/cm. Do not change concentration of dye for higher ranges of ozone residual. Volume of dye used may be adjusted.

b. Indigo reagent I: To a 1-L volumetric flask add 20 mL indigo stock solution, 10 g sodium dihydrogen phosphate (NaH₂PO₄), and 7 mL conc phosphoric acid. Dilute to mark.

Prepare solution fresh when its absorbance decreases to less than 80% of its initial value (typically within a week).

c. *Indigo reagent II*: Proceed as with indigo reagent I, but add 100 mL indigo stock solution instead of 20 mL.

d. *Malonic acid reagent*: Dissolve 5 g malonic acid in water and dilute to 100 mL.

e. *Glycine reagent*: Dissolve 7 g glycine in water and dilute to 100 mL.

4. Procedure

a. *Spectrophotometric, volumetric procedure*:

1) Concentration range 0.01 to 0.1 mg O₃/L—Add 10.0 mL indigo reagent I to each of two 100-mL volumetric flasks. Fill one flask (blank) to mark with distilled water. Fill other flask to mark with sample. Measure absorbance of both solutions at 600 ± 10 nm as soon as possible but at least within 4 h. Preferably use 10-cm cells. Calculate the ozone concentration from the difference between the absorbances found in sample and blank (4500-O₃B.5a). (NOTE: A maximum delay of 4 h before spectrophotometric reading can be tolerated only for drinking water samples. For other sample types that cannot be read immediately, determine the relationship between time and absorbance.)

2) Range 0.05 to 0.5 mg O₃/L—Proceed as above using 10.0 mL indigo reagent II instead of reagent I. Preferably measure absorbance in 4- or 5-cm cells.

3) Concentrations greater than 0.3 mg O₃/L—Proceed using indigo reagent II, but for these higher ozone concentrations use a correspondingly smaller sample volume. Dilute resulting mixture to 100 mL with distilled water.

4) Control of interferences—In presence of low chlorine concentration (<0.1 mg/L), place 1 mL malonic acid reagent in both flasks before adding sample and/or filling to mark. Measure absorbance as soon as possible, within 60 min (Br⁻, Br₂, and HOBr are only partially masked by malonic acid).

In presence of manganese prepare a blank solution using sample, in which ozone is selectively destroyed by addition of glycine. Place 0.1 mL glycine reagent in 100-mL volumetric flask (blank) and 10.0 mL indigo reagent II in second flask (sample). Pipet exactly the same volume of sample into each flask. Adjust dose so decolorization in second flask is easily visible but complete bleaching does not result (maximum 80 mL).

Ensure that pH of glycine/sample mixture in blank flask (before adding indigo) is not below 6 because reaction between ozone and glycine becomes very slow at low pH. Stopper flasks and mix by carefully inverting. Add 10.0 mL indigo reagent II to blank flask only 30 to 60 s after sample addition. Fill both flasks to the mark with ozone-free water and mix thoroughly. Measure absorbance of both solutions at comparable contact times of approximately 30 to 60 min (after this time, residual manganese oxides further discolor indigo only slowly and the drift of absorbance in blank and sample become comparable). Reduced absorbance in blank flask results from manganese oxides, while that in sample flask is due to ozone plus manganese oxide.

5) Calibration—Because ozone is unstable, base measurements on known and constant loss of absorbance of the indigo reagent ($f = 0.42 + 0.01/\text{cm}/\text{mg O}_3/\text{L}$). For maximum accuracy, analyze the lot of potassium indigo trisulfonate (no commercial lot has been found to deviate from $f = 0.42$) using the iodometric procedure.

When using a filter photometer, re-adjust the conversion factor, f , by comparing photometer sensitivity with absorbance at 600 nm by an accurate spectrophotometer.

b. *Spectrophotometric, gravimetric procedure*:

1) Add 10.0 mL indigo reagent II to 100-mL volumetric flask and fill flask (blank) to mark with distilled water. Obtain tare weight of a second flask (volumetric or Erlenmeyer). Add 10.0 mL indigo reagent II to second flask. Fill directly with sample (do not run water down side), and swirl second flask until blue solution has turned to a light blue color. Weigh flask containing indigo and sample.

2) Preferably using 10-cm cells, measure absorbance of both solutions at 600 ± 10 nm as soon as possible, but at least within 4 h. NOTE: A maximum delay of 4 h before spectrophotometric reading is suitable only for drinking water samples. For other sample types, test the time drift.

5. Calculations

a. *Spectrophotometric, volumetric method*:

$$\text{mg O}_3/\text{L} = \frac{100 \times \Delta A}{f \times b \times V}$$

where:

ΔA = difference in absorbance between sample and blank,

$f = 0.42$,

b = path length of cell, cm, and

V = volume of sample, mL (normally 90 mL).

The factor f is based on a sensitivity factor of 20 000/cm for the change of absorbance (600 nm) per mole of added ozone per liter. It was calibrated by iodometric titration. The UV absorbance of ozone in pure water may serve as a secondary standard: the factor $f = 0.42$ corresponds to an absorption coefficient for aqueous ozone, $E = 2950/M \cdot \text{cm}$ at 258 nm.

b. *Spectrophotometric, gravimetric method*:

$$\text{mg O}_3/\text{L} = \frac{(A_B \times 100) - (A_S \times V_T)}{f \times V_S \times b}$$

where:

A_B, A_S = absorbance of blank and sample, respectively,

V_T = total volume of sample plus indigo, mL = (final weight - tare weight) g × 1.0 mL/g,

$f = 0.42$ (see § a above),

V_S = volume of sample, mL = [(final weight - tare weight) g × 1.0 mL/g] - 10 mL, and

b = path length of cell, cm.

6. Precision and Bias

For the spectrophotometric volumetric procedure in the absence of interferences, the relative error is less than 5% without special sampling setups. In laboratory testing, this may be reduced to 1%. No data are available for the spectrophotometric gravimetric procedure.

Because this method is based on the differences in absorbance between the sample and blank (ΔA) the method is not applicable

OZONE (RESIDUAL) (4500-O₃)/Indigo Colorimetric Method

in the presence of chlorine. If the manganese content exceeds the ozone, precision is reduced. If the ratio of manganese to ozone is less than 10:1, ozone concentrations above 0.02 mg/L may be determined with a relative error of less than 20%.

7. Reference

1. HOIGNÉ, J. & H. BADER. 1980. Bestimmung von Ozon und Chlordinoxid im Wasser mit der Indigo-Methode. *Vom Wasser* 55:261.

8. Bibliography

- BADER, H. & J. HOIGNÉ. 1981. Determination of ozone in water by the indigo method. *Water Res.* 15:449.
- BADER, H. & J. HOIGNÉ. 1982. Determination of ozone in water by the indigo method. A submitted standard method. *Ozone: Sci. Eng.* 4:169.
- GILBERT, E. & J. HOIGNÉ. 1983. Messung von Ozon in Wasserwerken; Vergleich der DPD- und Indigo-Methode. *GWF-Wasser/Abwasser* 124:527.
- HAAG, W.R. & J. HOIGNÉ. 1983. Ozonation of bromide-containing waters: kinetics of formation of hypobromous acid and bromate. *Environ. Sci. Technol.* 17:261.
- STRAKA, M.R., G. GORDON & G.E. PACEY. 1985. Residual aqueous ozone determination by gas diffusion flow injection analysis. *Anal. Chem.* 57:1799.
- GORDON, G. & G.E. PACEY. 1986. An introduction to the chemical reactions of ozone pertinent to its analysis. In R.G. Rice, L.J. Bollyky & W.J. Lacy, eds. *Analytical Aspects of Ozone Treatment of Water and Wastewater—A Monograph*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mich.
- COFFEY, B.C., K.G. GRAFF, A.A. MOFIDI & J.T. GRAMITH. 1995. On-line monitoring of ozone disinfection effectiveness within an over-under baffled contactor. Proc. Annu. Conf., American Water Works Assoc., Anaheim, Calif. American Water Works Assoc., Denver, Colo.
- METROPOLITAN WATER DISTRICT OF SOUTHERN CALIFORNIA. 1996. Demonstration-Scale Evaluation of Ozone/PEROXONE." American Water Works Assoc. Research Foundation.

گواهینامه آزمون



معاونت پژوهشی و فناوری
مرکز خدمات آزمایشگاهی

شماره گواهینامه: LAE-1401-1
تاریخ صدور: ۱۴۰۱/۱۲/۱
پیوست: دارد
صفحه ۱ از ۹

مشخصات آزمایشگاه		نام: مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شریف	
شناسه ملی / شماره ثبت: ۱۴۰۰۲۸۳۰۲۵۶	شماره اقتصادی: ۴۱۱۳۷۵۶۶۱۴۹۹	نشانی کامل: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف - معاونت پژوهش و فناوری - مجتمع خدمات فناوری - مرکز خدمات آزمایشگاهی	
کد پستی: ۱۴۵۸۸۸۹۶۹۴		تلفن: ۶۶۱۶۶۲۴۶	دورنگار: ۶۶۰۷۲۵۶۳
ایمیل / وبسایت: http://c-labs.sharif.ir_clab@sharif.ir		مشخصات متقاضی	
نام شخص حقیقی / حقوقی: شرکت سپند کارا صنعت فارس		شماره اقتصادی: ۴۱۱۴۴۷۷۹۹۹۱۴	شناسه ملی / شماره ثبت: ۱۰۵۳۰۵۱۲۴۴۷
نشانی کامل: شهرک صنعتی بزرگ شیراز، میدان دوم، ساختمان فناوری شیمیایی، طبقه اول، واحد ۱۱۷			
کد پستی: ۷۱۵۸۱۹۴۸۵۱		تلفن: ۰۷۱-۳۷۷۴۴۸۶۶	شماره همراه: ۰۹۱۷۱۱۲۴۲۳۵
دورنگار: --		مشخصات درخواست	
شماره درخواست: 40111-0276		تاریخ درخواست: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷	
نام آزمون: عملکرد دستگاه در تولید ازن			
استاندارد/روش اجرایی: Standard methods for the examination of water and wastewater; Ozone (4500-O ₃ : Indigo Colorimetric Method, page 4-154)			
نام آزمایشگاه: کاربرد فناوری‌های الکتروشیمیایی در محیط زیست و انرژی		تاریخ انجام آزمون: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰	
مشخصات مرجع مورد استفاده:			
نام دستگاه: اسپکتروفوتومتر / Spectrophotometer		کد دستگاه: ۷-۰۷۰۷-۲۰۰۱	دقت دستگاه: ۰.۰۱
شرایط محیطی:			
دما: ۲۵°C		رطوبت: ۲۷٪	فشار: ۱۰۱۴ میلی بار
		غیره: ---	
نتایج آزمون:			
نمونه مورد آزمون	نتیجه آزمون (جذب اسپکتروفوتومتر در 602 nm)	عدم قطعیت (در خوانش جذب اسپکتروفوتومتر)	توضیحات: عدم قطعیت منتقل شده به غلظت ازن محاسبه شده در واحد ppm (بر اساس برازش خطی نمودار در گزارش و نیز تاثیرات تغییر غلظت و حجم)
۱	0.929	0.01	0.015
۲	0.925	0.01	0.015
۳	0.913	0.01	0.015
۴	0.843	0.01	0.015
۵	0.914	0.01	0.015
۶	0.895	0.01	0.015
۷	0.880	0.01	0.015
۸	0.912	0.01	0.015
۹	0.940	0.01	0.015
۱۰	0.930	0.01	0.015
۱۱	0.935	0.01	0.015
۱۲	0.933	0.01	0.015
۱۳	0.918	0.01	0.015
۱۴	0.932	0.01	0.015
۱۵	0.816	0.01	0.015
۱۶	0.929	0.01	0.015
۱۷	0.925	0.01	0.015
۱۸	0.913	0.01	0.015
۱۹	0.843	0.01	0.015
۲۰	0.914	0.01	0.015
۲۱	0.895	0.01	0.015
۲۲	0.880	0.01	0.015
۲۳	0.912	0.01	0.015
۲۴	0.940	0.01	0.015
۲۵	0.930	0.01	0.015
آزمایش کننده: دکتر شهناز قاسمی	تایید کننده: مدیر فنی: دکتر شهناز قاسمی	مدیر مرکز خدمات آزمایشگاهی: دکتر مجتبی تقی پور	مهر آزمایشگاه

CLDCFR94040R00



نتایج آزمون طبق جدول پیوست

توضیحات ضروری: در آزمایشگاه های مرکز خدمات آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شریف با توجه به مؤلفه های مؤثر در نتایج آزمون عدم قطعیت با ضریب $K=2$ یا سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه گردیده است.

- این سند بدون مهر و امضاء مرکز خدمات آزمایشگاهی فاقد اعتبار است. هرگونه کپی برداری بدون کسب مجوز از مرکز خدمات آزمایشگاهی غیر مجاز است.
- باقیمانده نمونه های مورد آزمون با توافق مشتری حداکثر به مدت ۳۰ روز نگهداری خواهد شد.

لطفاً در صورت وجود هر گونه ابهام در محتوای گزارش و یا نیاز به کسب اطلاعات بیشتر با مرکز خدمات آزمایشگاهی تماس حاصل فرمایید.

گزارش نتایج میزان تولید ازن محلول در آب به روش EOG توسط دستگاه vcube شرکت سپند کارا صنعت فارس و توضیح روش اجرای آزمون ها

۱ هدف آزمایش و معیار طراحی

در این مجموعه آزمایش ها، عملکرد دو نسل از دستگاه vcube با نام های آلفا (α) و بتا (β) جهت تولید ازن محلول در آب به روش EOG^۱ مورد بررسی قرار گرفت. طراحی آزمایش ها، بر اساس سنجش تاثیر مولفه هایی نظیر نسخه مورد استفاده دستگاه vcube (α ، β)، جنس آب و زمان کارکرد دستگاه، در میزان تولید غلظت ازن محلول در آب بود.

۲ نحوه اجرای آزمایش و دستورالعمل های بکار رفته در اندازه گیری

۲،۱ متغیرها

متغیرها عبارت بودند از

۱- نسل دستگاه vcube که در دو نسخه آلفا (α) و بتا (β) (شکل ۱) موجود بود (مشخصات تولیدی دو دستگاه در جدول ۱ قابل مشاهده است)،

۲- زمان کاری دستگاه که در محدوده ۱ تا ۳۰ دقیقه بود،

۳- آب مورد استفاده که در دو گونه

الف) آب تصفیه شهری (تهران)،

ب) آب معدنی/ نوشیدنی درون بطری های تجاری،

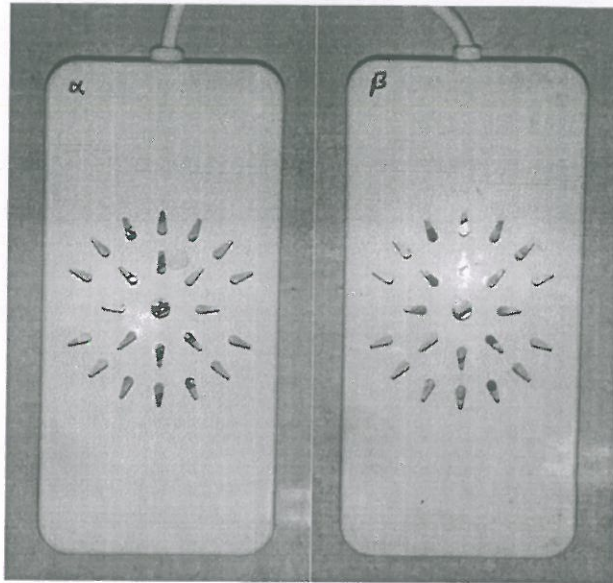
تهیه شد. مشخصات عمومی این سه آب در

قابل مشاهده است. آب های معدنی مورد استفاده از چندین نشان تجاری بودند تا تکرار و تعمیم پذیری نتایج بررسی شود. تصاویر بطری های آب معدنی و برچسب مشخصات آنها در شکل ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۱. مشخصات دستگاه تولید ازن محلول در آب به روش الکترولیتی (EOG) با نام تجاری ویکوب (**vcube**)

نام تجاری دستگاه	ویکیوب مدل اپرایم آلفا vcube oprime α	ویکیوب مدل اپرایم بتا vcube oprime β
شرکت سازنده	سپندکارا صنعت فارس، ایران	سپندکارا صنعت فارس، ایران
شماره سریال دستگاه Serial Number	N010730-110-01	N010730-118-02
شماره گروه دستگاه Lot Number	82300	82315
تاریخ تولید	۱۴۰۱/۰۲/۰۱	۱۴۰۱/۰۳/۰۱

^۱ Electrolytic ozone generation



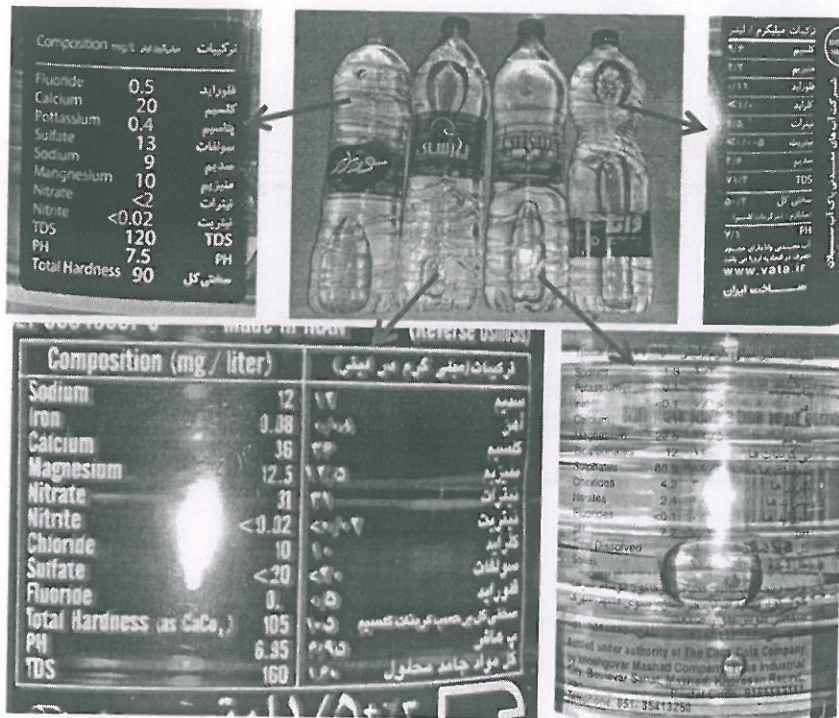
شکل ۱. تصویر نسخه های آلفا (α) و بتا (β) دستگاه vcube.

جدول ۲. مشخصات عمومی سه آب مورد استفاده در آزمایش های تولید ازن vcube

نوع آب		مشخصه ها
آب معدنی	آب تصفیه شهری	
7.2	7.65	pH
100-200	700	EC
70-160	≈400	TDS



معاونت پژوهشی و فناوری
مرکز خدمات آزمایشگاهی



شکل ۲. نمونه های تجاری آب معدنی/نوشیدنی مورد استفاده در آزمایش های تولید ازن.

۲.۲ وسایل و لوازم و روش نمونه برداری

وسایل و لوازم مورد استفاده عبارت بودند از:

- دستگاه های vcube به همراه منبع تغذیه مربوطه،
- آب تصفیه شهری، آب معدنی،
- ظرف پلاستیکی استوانه ای ۱.۵ لیتری جهت انجام آزمایش،
- دستگاه اسپکتروفوتومتر Hach DR4000 ،
- آمپول های ویژه تست ازن محلول در آب شرکت Hach تحت عنوان Ozone AccuVac® Ampuls (medium range 0.01 to 0.75 mg/L O₃)
- pH متر، EC متر.

موارد مهم از اقلام فوق در شکل ۳ قابل مشاهده است.



معاونت پژوهشی و فناوری
مرکز خدمات آزمایشگاهی



شکل ۳. وسایل و لوازم مورد استفاده در آزمایش ها.

روش انجام کار بدین ترتیب بود که پس از تعیین نسخه دستگاه vcube و جنس آب مورد نظر، آب و دستگاه درون ظرف ۱,۵ لیتری انجام آزمایش قرار داده شده و دستگاه روشن می شد. پس از گذشت زمان های کاری مورد نظر، دستگاه vcube، خاموش شده و بلافاصله یک آمپول ویژه نمونه برداری، درون ظرف حاوی آب و دستگاه و زیر سطح آب نگه داشته شده و با شکستن نوک شیشه ای آمپول تحت خلاء، حجم مشخصی (حدود ۱۵ میلی لیتر) از آب به صورت خودکار به درون آمپول نمونه برداری مکش می شد. این آمپول ظرف زمان کوتاهی (کمتر از ۱ دقیقه) تکان داده می شد تا واکنش ازن محلول با پودرهای شیمیایی از پیش درون آمپول قرار گرفته تکمیل شود، سطح خارجی آمپول توسط دستمال پاکیزه خشک شده و به اسپکتروفوتومتر برای طیف سنجی منتقل شده و خوانش میزان ازن محلول انجام می شد.

۲,۳ استاندارد مورد استفاده در اندازه گیری ازن محلول

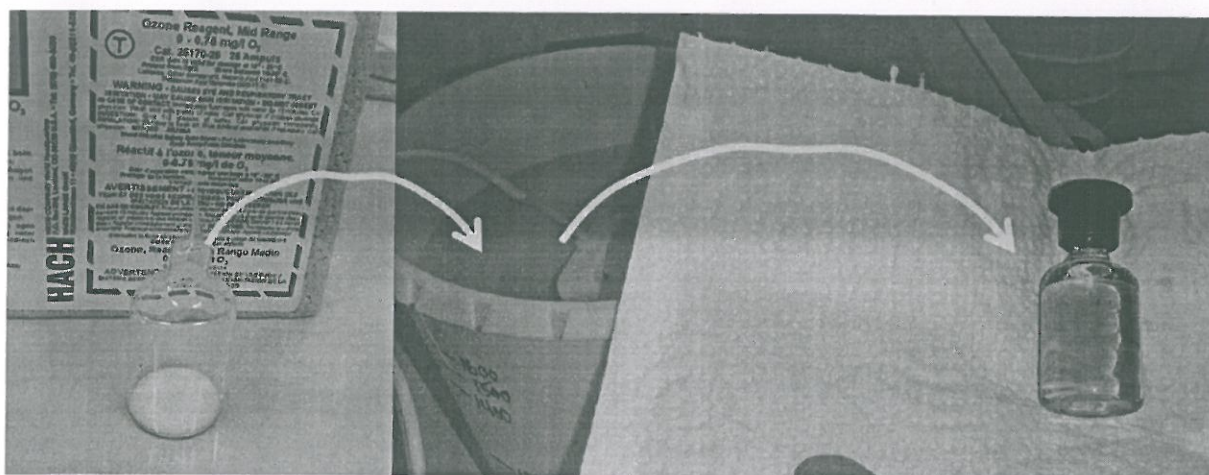
استاندارد مورد استفاده در اندازه گیری ازن محلول، موسوم به روش ایندیگو (Ozone (O₃): Indigo Colorimetric Method) بوده و بر اساس روش مطروحه در مرجع استاندارد تست آب و پساب^۲ و در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه گیری شد.

^۲ L.L. Bridgewater, R.B. Baird, A.D. Eaton, E.W. Rice (Editors) "Standard methods for the examination of water and wastewater; Ozone (450–O₃: Indigo Colorimetric Method, page 4-154), prepared and published jointly by American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1st ed. 1912, 23th Ed. 2017, Washington DC, US

۲,۴ پروتکل مورد استفاده در اندازه گیری ازن محلول

پروتکل مورد استفاده در اندازه گیری غلظت ازن محلول (شامل نحوه و ابزار نمونه برداری، مواد شیمیایی مورد استفاده در طیف سنجی، دستگاه سطحی سنجی، برنامه و روابط ریاضی مورد استفاده در تبدیل نتایج طیف سنجی به غلظت ازن محلول، غیره)، عبارت بود از پروتکل استاندارد شرکت Hach تحت عنوان Ozone Indigo Method (Method 8311) که مبتنی بر روش استاندارد مطروحه در بخش ۲,۳ بوده و با استفاده از آمپول های موسوم Ozone AccuVac® Ampuls انجام می شود. آمپول های شیشه ای حاوی مواد شیمیایی مورد نیاز و قرار گرفته تحت خلاء، برای سه محدوده غلظتی ازن (غلظت پایین، غلظت متوسط و غلظت بالا) موجود هستند که در این آزمایش ها از محدوده غلظت میانی (medium range 0.01 to 0.75 mg/L O₃) یا به اختصار، (MR) استفاده شد. با قرار دادن آمپول در زیر سطح آب و شکستن نوک آن، آب در اثر خلاء درون آمپول، به داخل آن هدایت شده و پودرهای درون آن را حل کرده و رنگ آبی نیلی (indigo) ایجاد می کند (شکل ۴). سپس چنانچه مقداری ازن محلول در آب موجود باشد، رنگ نیلی را تا حدی از بین می برد (شکل ۵) که شدت رنگ زدایی، تابعی از غلظت ازن محلول بوده و همین امر، مبنای طیف سنجی و محاسبه غلظت ازن محلول قرار می گیرد.

لازم به توضیح است که در پروتکل استاندارد شرکت Hach، آمپول ها، حاوی مواد شیمیایی لازم جهت حذف تداخل اکسیدان های احتمالی دیگر موجود در آب نظیر انواع گونه های کلر آزاد هستند.



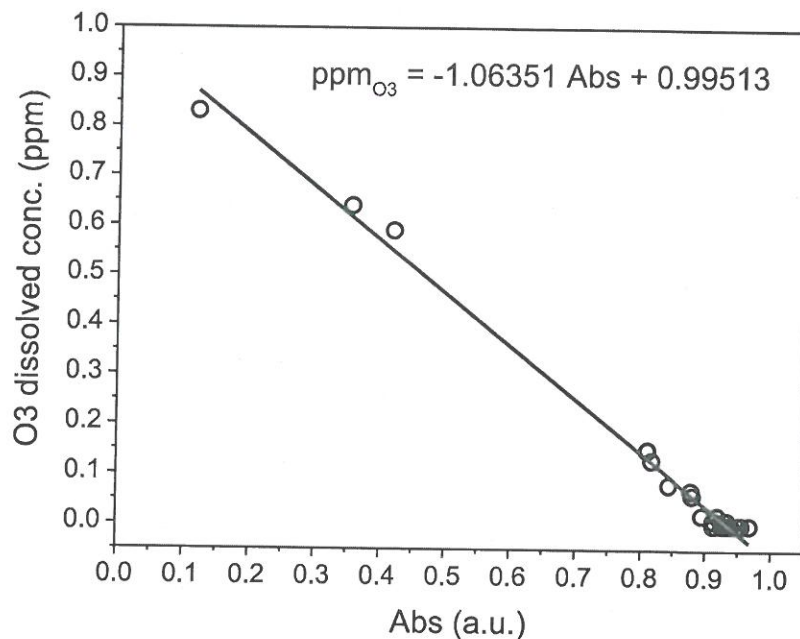
شکل ۴. نحوه تغییر رنگ آمپول (medium range 0.01 to 0.75 mg/L O₃) Ozone AccuVac® Ampuls در تماس با آب.



شکل ۵. نمونه ای از تاثیر ازن محلول بر رنگ نیلی آمپول های Ozone AccuVac® Ampuls.

۲.۵ حد سنجش و دقت نتایج

حد سنجش ازن محلول مورد ذکر در پروتکل استاندارد شرکت Hach تحت عنوان (Ozone Indigo Method (Method 8311)، معادل 0.01 mg/L O_3 است و دقت نتایج در محدوده غلظت بهینه ($0.43\text{--}0.47 \text{ mg/L O}_3$) برای آمپول های MR، معادل ۹۵٪ است. برای بهبود دقت نتایج در غلظت های دور از محدوده غلظت بهینه، نظیر غلظت های نزدیک به 0.75 mg/L O_3 یا نزدیک به صفر، و نیز برای کم اثر کردن تغییر رنگ خودبخودی و تدریجی آمپول مرجع مقایسه (حاوی آب مقطر فاقد ازن محلول)، یک نمودار کالیبراسیون برای تبدیل داده های طیف سنجی به غلظت ازن ساخته و با استفاده از برازش خطی داده ها، تابع تبدیلی از آن استخراج شد (شکل ۶)، تا با تکیه بر این تابع و قوت آماری نهفته در آن جهت تعدیل نوسانات نقطه ای، دقت نتایج افزایش یابد. لازم به توضیح است که در تمام متن این گزارش و نمودارها، واحدهای غلظتی mg/L و ppm به یک معنی واحد استفاده شده اند.



شکل ۶ نمودار کالیبراسیون و برازش خطی برای تبدیل داده های طیف سنجی به غلظت ازن و تابع تبدیلی استخراج شده از آن.

مقدار Residual Sum of Squares برای این برازش خطی معادل 0.000896 و مقدار Adj. R-Square برای این برازش خطی معادل 0.99248 بود. با توجه به کیفیت بالای برازش، ارزیابی مقدار ازن محلول در این گزارش، با اتکا به تابع تبدیلی فوق‌الذکر انجام شد.

۳ نتایج آزمایش ها

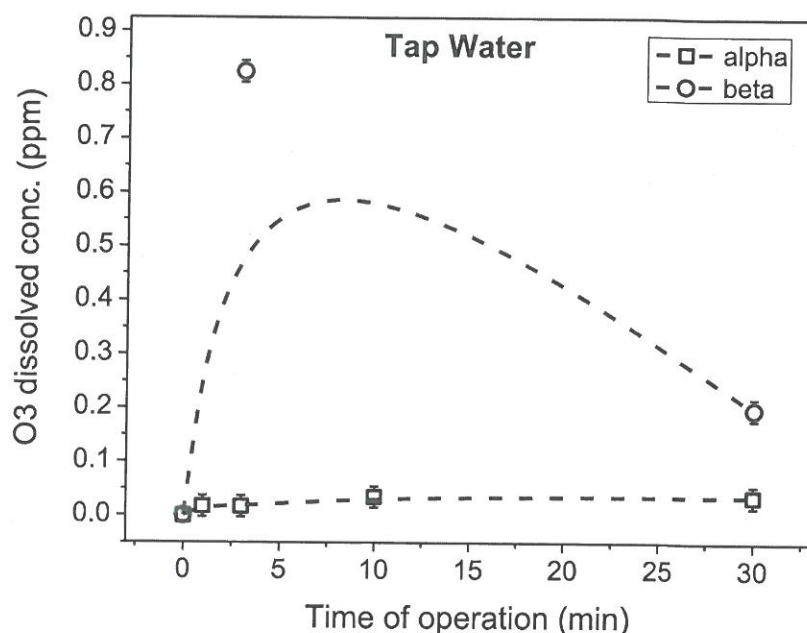
نتایج ارزیابی میزان ازن محلول شکل گرفته در آب های مختلف در اثر عملکرد دستگاه های vcube نسخه های آلفا (α) و بتا (β) در پی می آید. لازم به توضیح است که در این گزارش، به واسطه ماهیت صرفاً ارزیابانه و توصیفی آن، از تفسیر نتایج و جرایب تفاوت عملکرد دستگاه ها و نیز ارزشگذاری میزان ازن محلول اجتناب شده است. همچنین لازم به ذکر است که توان تولید ازن محلول در تمامی دستگاه های EOG، از جمله دستگاه های vcube نسخه های آلفا (α) و بتا (β)، دارای ماهیت و



دیمانسیون "جرم ازن محلول در واحد زمان" است و نه "غلظت ازن در واحد زمان". به عبارت دیگر، غلظت ازن محلول شکل گرفته پس از مدت زمان مشخصی از کارکرد دستگاه EOG، وابستگی مستقیمی به حجم آبی دارد که دستگاه در آن فعال بوده است. با توجه به غیرماهوی بودن ارتباط پارامتر حجم آب با توان دستگاه EOG، در ارائه نتایج در این گزارش (نمودارهایی که در پی می آید)، جهت استانداردسازی و تسهیل تعمیم پذیری و تخمین پذیری نتایج به کاربردهای آتی، عملکرد دستگاه با این فرض که در آبی به حجم ۱ لیتر کار کند گزارش شده است. استفاده از ظرف آب ۱٫۵ لیتری در آزمایش های حاضر، عمدتاً به دلیل تسهیل نمونه برداری و تطبیق پذیری با نیازهای آزمایشگاهی دقیق بوده است.

۳٫۱ عملکرد در آب تصفیه شهری

نتایج عملکرد دستگاه های vcube نسخه های (alpha/α) و (beta/β) در تولید ازن محلول در آب تصفیه شهری در شکل ۷ قابل مشاهده است. بیشینه غلظت ازن محلول تولیدی توسط دستگاه α پس از زمان ۳۰ دقیقه و در حدود 0.04 mg/L O₃ بوده است. بیشینه غلظت ازن محلول تولیدی توسط دستگاه β پس از زمان ۳ دقیقه و در حدود 0.82 mg/L O₃ بوده است.



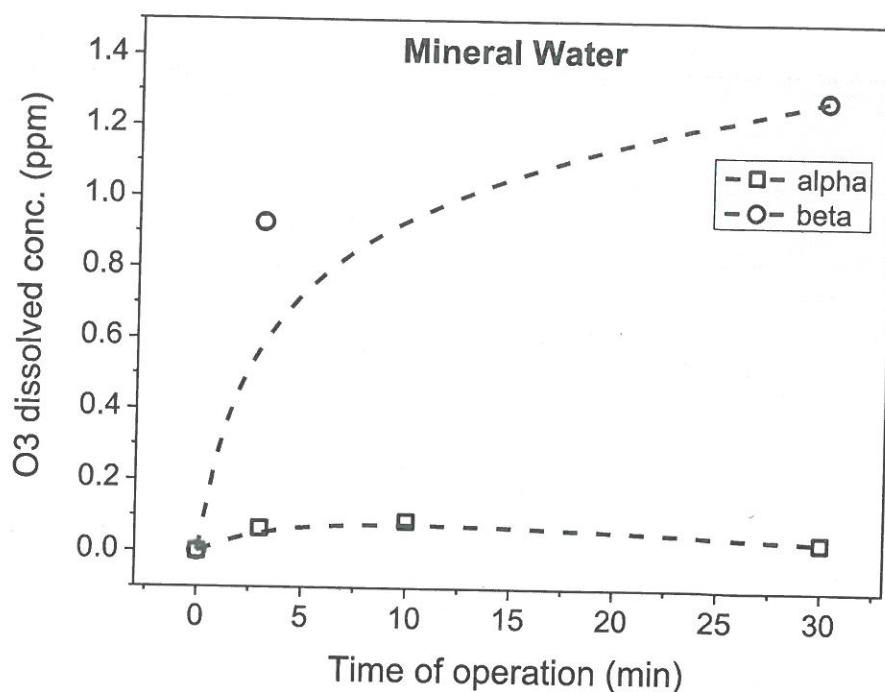
شکل ۷. نتایج عملکرد دستگاه های vcube نسخه های (alpha/α) و (beta/β) در تولید ازن محلول در آب تصفیه شهری.

۳٫۲ عملکرد در آب معدنی / آب نوشیدنی درون بطری های تجاری

نتایج عملکرد دستگاه های vcube نسخه های (alpha/α) و (beta/β) در تولید ازن محلول در آب معدنی (آب نوشیدنی درون بطری های تجاری)، در شکل ۸ قابل مشاهده است. بیشینه غلظت ازن محلول تولیدی توسط دستگاه α پس از زمان ۱۰ دقیقه و در حدود 0.1 mg/L O₃ بوده است. بیشینه غلظت ازن محلول تولیدی توسط دستگاه β پس از زمان ۳۰ دقیقه و در حدود 1.28 mg/L O₃ بوده است.

لازم به توضیح است که تغییر دادن برند آب معدنی مورد استفاده در آزمایش ها، تفاوت جدی در عملکرد دستگاه های vcube نسخه های (alpha/α) و (beta/β) ایجاد نکرد.





شکل ۸. نتایج عملکرد دستگاه های vcube نسخه های (alpha/α) و (beta/β) در تولید ازن محلول در در آب معدنی / آب نوشیدنی درون بطری های تجاری.

۴ جمع بندی

در این مجموعه آزمایش ها، عملکرد دو نوع از دستگاه vcube با نام های آلفا (α) و بتا (β) با هدف اندازه گیری میزان غلظت ازن محلول تولید شده در آب به روش الکترولیتی (EOG) مورد بررسی قرار گرفت. نمودارهای حاصل از نتایج آزمون های انجام گرفته بر روی دو نمونه دستگاه نشان می دهند که هر دو نوع آلفا (α) و بتا (β) دستگاه vcube قادر به تولید ازن محلول در آب های ۱- آب تصفیه شهری، ۲- آب معدنی / آب نوشیدنی درون بطری های تجاری، هستند. نتایج آزمایشات انجام شده بر روی نسل آلفا نشان داد که دستگاه در حین عملکرد فاقد رهائش عناصر خطرناک در آب می باشد

ملاحظات:

همانطور که در بندهای ۲ و ۳ اشاره شد، غلظت ازن محلول در آب تولیدی این دستگاه تابع پارامترهای نوع آب، زمان و نوع دستگاه می باشد که با تغییر این پارامترها میزان غلظت ازن تولیدی متغیر خواهد بود.

