ORIGINAL ARTICLE

Investigation the Effect of Environmental Factors on the Sodium Hypochlorite Solution Stability as Disinfection of Environmental Surfaces

Mohammad Ali Zazouli[1,2]
Yalda Hashempour[3]
Nafiseh Dashtban[4]

[1] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences research center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] MSc in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received May 8, 2023; Accepted October 21, 2023)

Abstract

Background and purpose: Considering that chlorine disinfectants are one of the most common disinfectants for disinfecting water and wastewater, hospital environments, etc., and there are questions about the stability of chlorine in solutions and on surfaces. So, the purpose of this study is to investigate the effect of environmental factors on the stability of sodium hypochlorite solutions stored in different conditions.

Materials and methods: In this study, sodium hypochlorite solution was used for solution preparation. According to the number of parameters and based on the design of the experiment (DoE) and the response surface modeling (RSM) using the Box-Benken design (BBD), 29 experiments were performed. The solutions were stored in opaque plastic bottles covered with aluminum foil. The stability of solution in concentration of 0.05, 0.5 and 1% with the pHs of 5, 7.5 and 10 stored at 4, 25 and at 45°C, and the storage time of 15, 30, and 60 days was examined. The residual chlorine concentration was determined by the iodometric method according to the standard method.

Results: The results of this study showed that the chlorine stability decreases with increasing concentration of chlorine solution, increasing temperature and storage time. Solutions with neutral pH (7.5) showed less stability than acidic and alkaline solutions. Based on the experimental design and RSM using BBD, the linear effect of the temperature, pH, initial concentration and time was significant ($P<0.05$). There was a negative correlation between the amount of available chlorine and time.

Conclusion: This study showed that different storage conditions of sodium hypochlorite solution strongly affect the stability of its chlorine, so it is recommended to pay attention to these factors when using this solution for disinfection.

Keywords: disinfection, chlorine stability, environment disinfection, water and sewage disinfection, Sodium hypochlorite

J Mazandaran Univ Med Sci 2023; 33 (Supple 1): 274-286 (Persian).

Corresponding Author: Nafiseh Dashtban- Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran. (E-mail: nafisedashtban2019@gmail.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و سوم شماره ویژه نامه 1 آبان سال 1402 (286-274)

بررسی تأثیر عوامل محیطی بر پایداری محلول هیپوکلریت‌سدیم به‌عنوان گندزدای سطوح محیطی

محمد علی زرولی[1,2]
یلدا هاشم پور[3]
نفیسه دشتبان[4]

چکیده

سابقه و هدف: باتوجه‌به اینکه گندزداهای کلره یکی از گندزداهای رایج برای گندزدایی آب و فاضلاب، محیط‌های بیمارستانی و... هستند و پرسش‌هایی درباره ماندگاری کلر در محلول‌ها و سطوح مطرح است، هدف این تحقیق بررسی تأثیر عوامل محیطی بر پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم نگهداری‌شده در شرایط مختلف است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، از محلول هیپوکلریت سدیم برای محلول‌سازی استفاده شد. باتوجه‌به تعداد پارامترها و بر اساس طراحی آزمایش و مدل‌سازی سطح پاسخ با استفاده از طرح باکس‌بنکن، تعداد 29 آزمایش انجام شد. محلول‌ها در بطری‌های پلاستیکی مات که با فویل آلومینیمی پوشانده شده بودند، نگهداری شدند. پایداری محلول‌ها در غلظت‌های 0/05، 0/5 و 1 درصد، با pHهای 5، 7/5 و 10، در دمای 4، 25 و 45 درجه‌ی سانتی‌گراد و زمان نگهداری 0، 15، 30 و 60 روز بررسی شد. غلظت باقی‌مانده‌ی کلر به روش یدومتریک مطابق روش استاندارد تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت محلول کلر، افزایش دما و زمان نگهداری، پایداری کلر کاهش می‌یابد. محلول‌ها با pH خنثی، پایداری کم‌تری نسبت به محلول‌های اسیدی و قلیایی نشان دادند. بر اساس طراحی آزمایش و مدل‌سازی سطح پاسخ با استفاده از طراحی فاکتوریل باکس‌بنکن، تأثیر خطی ضرایب دما، pH، غلظت اولیه و زمان نگهداری معنی‌دار بود($P<0/05$). بین مقدار کلر موجود و زمان هم‌بستگی منفی وجود داشت.

استنتاج: این مطالعه نشان داد که شرایط مختلف نگهداری محلول هیپوکلریت‌سدیم به شدت بر پایداری کلر تأثیر دارد؛ لذا توصیه می‌شود که هنگام کاربرد این ترکیب برای گندزدایی، به این عوامل توجه شود.

واژه های کلیدی: گندزدایی، پایداری کلر، گندزدایی محیط، گندزدایی آب و فاضلاب، هیپوکلریت‌سدیم

مقدمه

ویژگی‌های گندزدایی و بوزدایی کلر برای اولین بار در آغاز قرن نوزدهم شناخته شد. از بین گندزداها، هیپوکلریت‌ها مفیدترین گندزداهای کلردار هستند، به طوری که محلول‌های غیرآلی هیپوکلریت گندزداهایی شیمیایی و ضروری هستند که به‌طور گسترده‌ای، وجود دارند(1،2). یون هیپوکلریت (OCl^-) به‌طور گسترده‌ای

مولف مسئول: نفیسه دشتبان - ساری: کیلومتر 17 جاده‌ی فرح‌آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: nafisedashtban2019@gmail.com
1. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
2. مرکز تحقیقات سلامت فراورده های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
3. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
4. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت : 1402/2/18 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : 1402/3/22 تاریخ تصویب : 1402/7/29

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

برای گندزدایی آب استفاده می‌شود.

سه منبع صنعتی رایج یون هیپوکلریت گاز کلر، محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم(NaOCl) وفرمولاسیون جامد هیپوکلریت‌کلسیم($Ca(OCl)_2$) هستند(4،3). از سفیدکننده‌ی مایع (هیپوکلریت‌سدیم) که با نام سفیدکننده‌ی خانگی نیز شناخته می‌شود، در حدود دهه 1930، استفاده گسترده شد و امروزه، بیش‌ترین استفاده را در بین سفیدکننده‌های کلردار دارد. هیپوکلریت‌سدیم نوعی ماده گندزدای عالی است که در غلظت‌های مختلف(5 تا 5/25 درصد تجاری) موجود است و از آن در منازل و اماکن تجاری، در کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها، در صنعت و خدمات بهداشتی‌درمانی برای گندزدایی از سطوح مختلف آشپزخانه و حمام و در صنایع تصفیه‌ی آب و فاضلاب به‌عنوان ماده گندزدای اصلی استفاده می‌شود(6،5). هیپوکلریت‌سدیم بازی قوی با pH حدود 11 است. خصوصیات آن را می‌توان با مقدار کلر فعال موجود ارزیابی کرد. غلظت محلول‌های NaOCl برای تضمین اثرهای ضدمیکروبی و حلالیت آن‌ها باید کافی باشد(7). کلر موجود در محلول NaOCl باتوجه‌به pH، چندین شکل شیمیایی دارد: Cl_2 شکل اسیدی، HOCl شکل خنثی و -ClO شکل قلیایی آن است(8). امروزه، با اصلاح روش لاباراک، با ترکیب یک واحد کلر عنصری (Cl_2) با دو واحد هیدروکسیدسدیم، هیپوکلریت‌سدیم (NaOCl)، کلریدسدیم (NaCl) و آب (H_2O) تولید می‌شود(9، 10).

$$2NaOH + Cl_2 \rightarrow NaOCl + NaCl + H_2O$$

هیپوکلریت‌سدیم (NaOCl) بدون آب نمی‌تواند وجود داشته باشد. تلاش برای تبخیر آب از محلول‌های هیپوکلریت سدیم به تجزیه‌ی آن به کلرات سدیم، کلرید سدیم و آب تبخیر شده منجر می‌شود. هیپوکلریت سدیم باید در محلول آبی تولید شود که از نظر شیمیایی، پایدار است. این ماده در محلول آبی نگهداری می‌شود. هیپوکلریت سدیم در طول زمان، به‌آرامی، تجزیه می‌شود و کلریدسدیم، کلرات‌سدیم و اکسیژن تشکیل می‌دهد. فرایند تجزیه باعث کاهش محتوای کلر موجود و تولید محصولات جانبی نامطلوب می‌شود. به‌طور کلی، واکنش آهسته است و طی روزها و هفته‌ها، در شرایط محیطی، رخ می‌دهد. pH هیپوکلریت‌سدیم موضوعی حساس و عاملی مهم در پایداری آن است(9، 11). محلول‌های NaOCl ذاتاً ناپایدار هستند. اگرچه NaOCl مزایای بسیاری دارد، بی‌ثباتی شیمیایی از معایب مهم این محلول است(1). بی‌ثباتی شیمیایی آن‌ها که با قرار گرفتن در معرض گرما، نور و هوا افزایش می‌یابد، می‌تواند بحرانی تلقی شود که نشان‌دهنده‌ی کاهش ماندگاری NaOCl است. علاوه بر این، NaOCl دارای کشش سطحی نسبتاً بالایی است(7). خصوصیات شیمیایی مانند غلظت کلر، pH و خصوصیات فعال سطح ممکن است با اثر احتمالی بعدی بر درجه تاثیر آن، در طی زمان، تغییر کند. به‌عنوان مثال، تجزیه خودبه‌خود گونه‌های کلر به از دست دادن کلر آزاد موجود و بنابراین، فعالیت ضدمیکروبی منجر می‌شود. pH محلول‌های حاوی کلر بر پایداری کلی آن‌ها تأثیر می‌گذارد(2). محلول‌های کلر به دنبال واکنش بسیار وابسته و به طور غیرمعمولی حساس به pH، دما و غلظت تخریب می‌شوند(12). تولیدکنندگان حداقل از تاریخ انقضای دوساله برای محلول‌های NaOCl رقیق‌نشده‌ی پلمب‌شده استفاده می‌کنند(1). در خصوص پایداری شیمیایی محلول پس از باز شدن بطری‌ها، نگرانی‌هایی وجود دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که پایداری محلول‌های NaOCl از دما، غلظت، نور، مواد آلی، هوا، وجود کاتالیزورها، pH و وجود دی‌اکسیدکربن جو اثر می‌پذیرد(11، 13، 14). در مقابل، دما بر اثرهای حلالیت محلول‌های شست‌وشوی NaOCl تأثیر مثبت دارد(13). ماندگاری هیپوکلریت‌سدیم (NaOCl) محدود است. درصد غلظت NaOCl در محلول‌های آبی، به نسبت وزن در هر حجم کلر آزاد (FAC) که فرم اسید هیپوکلروس (HOCl) و فرم OCL^{-1} کلر است، مربوط

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

می‌شود. NaOCl نمک سدیم HOCl است(14). محلول‌های هیپوکلریت سدیم اگر به‌درستی ذخیره شوند، ماندگاری خوبی دارند، ارزان هستند و از منابع بسیاری به‌راحتی، در دسترس قرار می‌گیرند(15). پیشنهاد کرده‌اند که محلول‌های کلر هنگام استفاده برای گندزدایی، به‌صورت روزانه تهیه شوند. با این‌حال، مطالعاتی نشان داده‌اند که تحت شرایط نگهداری متفاوت، محلول‌های کلر برای زمان طولانی پایدار هستند(7، 12، 14، 16، 17).

Pipkin و همکاران در سال 1995، به بررسی اثرهای دمای ذخیره‌سازی، غلظت و زمان بر ثبات شیمیایی سه مارک مختلف از مواد سفیدکننده خانگی تجاری به‌عنوان منبع NaOCl و مقایسه‌ی پایداری این مارک‌های تجاری پرداختند. همه‌ی گروه‌ها رابطه‌ی منفی بین تیتر کلر موجود و زمان را نشان دادند(1).

Iqbal و همکاران در سال 2016، ماندگاری محلول‌های کلر پیشنهادشده در پاسخ به بیماری ویروس ابولا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دمای 25 تا 35 درجه‌ی سانتیگراد، حداکثر ماندگاری محلول‌های خنثی NaOCl (pH=7) چند ساعت، محلول‌های NaDCC (pH=6) دو روز، محلول‌های NaOCl تولیدشده (pH=9) شش روز و HTH و محلول‌های NaOCl تثبیت‌شده (Ph= 9-11) بیش‌تر از 30 روز است(12). به علت شیوع کووید در اسفندماه سال 1398، سازمان جهانی بهداشت برای عملیات گندزدایی سطوح بیمارستانی، اجساد، آمبولانس، لباس‌ها و محیط‌های آلوده، استفاده از هیپوکلریت‌ها از جمله هیپوکلریت‌سدیم را در غلظت‌های مختلف توصیه کرد. به علت تفاوت پایداری کروناویروس در محیط‌های مختلف و متأثر از عوامل مختلف، ضروری است که به نوع گندزدای انتخابی و شیوه‌ی گندزدایی توجه شود(18-20). در دوره شیوع کووید، یکی از سؤالات کارشناسان بهداشت محیط میزان پایداری گندزداهای هیپوکلریت بود؛ لذا، هدف این مطالعه تعیین تأثیر عوامل محیطی بر پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم نگهداری‌شده در شرایط مختلف محیطی است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی محلول‌ها

محلول های کلر حاوی هیپوکلریت سدیم (NaOCl) در این مطالعه تجربی و توصیفی، با هدف بررسی تأثیر عوامل محیطی بر پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم نگهداری‌شده در شرایط مختلف، با غلظت‌های مختلف(0/05، 0/5 و 1 درصد) توسط آب مقطر بدون کلر، تهیه شدند. مقادیر pH محلول‌ها 5، 7/5 و 10 در نظر گرفته شد. محلول‌ها در بطری‌های پلاستیکی مات که با فویل آلومینیمی کاملاً پوشانده شده بودند، از نور محافظت شدند. زیرا محلول‌های قلیایی حاوی هیدروکسیدسدیم، سطوح شیشه را حل می‌کنند. تمام بطری‌ها ابتدا کاملاً پر شدند تا فضای بین محلول و درپوش بطری به حداقل برسد و فقط هنگام نمونه‌گیری باز شدند. محلول‌ها در دمای 4 درجه‌ی سانتی‌گراد یخچال، 25 درجه‌ی سانتی‌گراد اتاق و 45 درجه‌ی سانتی‌گراد آون برای دوره‌های مختلف(15، 30 و 60 روز) نگهداری شدند و سپس، پایداری آن‌ها سنجیده شد.

طراحی آزمایش

روش‌شناسی سطح پاسخ (Response Surface Methodology:RSM)، مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است که رابطه‌ی بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل (مورد مطالعه) تعیین می‌کند. این روش را در سال 1951، باکس و ویلسون معرفی کردند و تا به امروز نیز از آن به‌عنوان یکی از ابزارهای طراحی آزمایش استفاده می‌شود. هرچند بسیاری این روش را نوعی شبه‌مدل می‌دانند، مطالعات زیادی این روش سطح پاسخ را روشی پذیرفتنی در مقایسه با روش‌های سنتی مدل‌سازی نشان داده‌اند(22،21). در هر آزمایش، تغییرات در متغیرهای

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

ورودی به‌منظور تعیین علل تغییرات در متغیر پاسخ ایجاد می‌شوند(21). از این‌رو، در این مطالعه، از مدل آماری RSM برای ایجاد ارتباط بین فاکتورها یا متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ استفاده شد. از بین سایر تکنیک‌های طراحی مبتنی بر RSM، BBD Box- Behnken Design یکی از ابزارهای قوی و مؤثر آماری است(23،22). در این پژوهش، برای طراحی آزمایش، از نرم‌افزار design expert مدل7,1,3 و روش طراحی BBD استفاده شده است.

از چهار فاکتور در سه سطح (پایین، متوسط و بالا به‌صورت 1-، 0 و 1+) برای مدل کردن میزان ناپایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم استفاده شد. این چهار فاکتور دما (°C)، زمان ماند (روز)، pH و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (درصد) بودند که به ترتیب، به‌صورت X_1، X_2، X_3 و X_4 نشان داده شدند. میزان ناپایداری محلول‌ها (Y) متغیر پاسخ در نظر گرفته شد. طراحی کامل صورت‌گرفته با این نرم افزار شامل 29 آزمایش بود. چهار متغیر مستقل در جدول شماره 1 نشان داده شده‌اند. در نهایت، جواب نهایی با استفاده از معادله‌ی شماره 1 محاسبه شد:

معادله‌ی شماره 1:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j$$

که در آن، Y متغیر پاسخ پیش‌بینی‌شده، β_0، β_i، β_{ii} و β_{ij} ضرایب ثابت مربوط به مدل رگرسیونی و X_i و X_j متغیرهای مستقل هستند. دقت و صحت این مدل بر اساس ضریب تعیین (R^2) و عدد F ارزیابی شد.

جدول شماره 1: دامنه و سطوح متغیرهای مستقل برای روش BBD

فاکتورها	سطوح		
	+1	0	-1
X_1	4	25	45
X_2	15	30	60
X_3	5	7	10
X_4	0/05	0/5	1

ترتیب اجرای آزمایش‌ها مطابق با طراحی صورت‌گرفته با نرم افزار design expert است. اعداد بهینه برای متغیرهای مورد بررسی در میزان ناپایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم با حل کردن معادله رگرسیون و با آنالیز سطح-پاسخ پلات‌ها به دست آمد. نقطه هدف برای ناپایداری محلول‌ها جایی بود که کم‌ترین تغییر را در غلظت اولیه‌ی محلول‌ها داشت.

اندازه‌گیری pH

pH محلول‌ها با استفاده از هیدروکسیدسدیم و اسیدسولفوریک به 5، 7/5 و 10 تنظیم شد. پس از اعمال شرایط نگهداری، pH با استفاده از pHمتر دیجیتال در دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (EUTECH INSTRUMENTS, CyberScan pH 5500, Netherlands).

تخمین مقدار کلر موجود

درصد کلر موجود تمام محلول ها بلافاصله پس از آماده‌سازی و پس از دوره‌های مختلف (15، 30 و 60 روز)، با استفاده از روش اندازه‌گیری با تیتراسیون یدومتریک، طبق استاندارد ASTM D2022، اندازه‌گیری شد(24).

یافته‌ها

جدول شماره 2 ماتریکس مدل Box-Behnken را نشان می‌دهد. ازآن جایی که داده‌های حاصل از آزمایش‌ها نرمال نبود، برای نرمال‌کردن آن‌ها در نرم‌افزار design expert از گزینه transformation و در ادامه، از گزینه square root استفاده شد. اعداد پیش‌بینی‌شده برای درصد ناپایداری محلول‌ها با استفاده از مدل درجه دوم (نرم‌افزار Design Expert نسخه 7) به دست آمدند. جدول شماره 2 نشان می‌دهد که تغییرات چشمگیری در میزان ناپایداری محلول‌ها در دامنه‌های مختلف پارامترهای مورد بررسی مشاهده شده است. این داده‌ها با استفاده از روش آنالیز رگرسیونی چندمتغیره و بر اساس معادله شماره 2، آنالیز

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

معادله شماره 2 :

$$Y = -40.21 + 0.04X_1 + 0.25X_2 + 10.16X_3 + 25.83X_4 - 3.32X_1X_2 - 1.51X_1X_3 - 0.11X_1X_4 - 9.82X_2X_3 - 0.08X_2X_4 - 1.2X_3X_4 + 1.64X_1^2 - 1.26X_2^2 - 0.66X_3^2 - 7.02X_4^2$$

شدند. متغیر پاسخ پیش‌بینی‌شده (Y) برای درصد ناپایداری محلول‌ها به صورت زیر به دست آمد:

در این معادله، Y متغیر پاسخ پیش بینی شده (درصد ناپایداری محلول‌ها)، X_1، X_2، X_3 و X_4 متغیرهای مستقل و به ترتیب، برابر با دما (°C)، زمان ماند (روز)، pH و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (درصد) بودند.

جدول شماره 2: ماتریکس طراحی Box-Behnken و سطوح متفاوت انتخاب‌شده از متغیر ها برای ناپایداری محلول ها

شماره‌ی آزمایش	متغیرهای مستقل (کد شده)				درصد ناپایداری محلول ها	
	X_1	X_2	X_3	X_4	آزمایش شده	پیش‌بینی شده
1	25	30	7/5	0/5	82/84	88/54
2	4	30	10	0/5	6/39	26/90
3	25	30	5	0/05	6/39	14/57
4	4	60	7/5	0/5	89/08	90/52
5	25	60	7/5	1	89/86	86/69
6	25	30	5	1	58/65	84/00
7	25	15	7/5	1	86/74	89/59
8	25	15	5	0/5	21/99	48/87
9	4	30	7/5	0/05	14/19	38/45
10	25	15	7/5	0/05	14/19	37/25
11	45	30	5	0/5	84/40	81/07
12	25	15	10	0/5	1/70	24/31
13	45	30	10	0/5	18/09	48/99
14	25	30	10	1	4/05	22/08
15	25	60	7/5	0/05	27/59	68/55
16	4	30	5	0/5	26/67	58/66
17	25	60	5	0/5	54/75	75/01
18	45	15	7/5	0/5	93/78	96/58
19	25	60	10	0/5	4/83	28/36
20	25	30	7/5	0/5	82/84	88/54
21	4	15	7/5	0/5	78/16	72/29
22	25	30	10	0/05	2/48	9/65
23	45	30	7/5	1	96/88	101/03
24	45	30	7/5	0/05	76/60	80/99
25	25	30	7/5	0/5	82/84	88/54
26	25	30	7/5	0/5	82/84	88/54
27	25	30	7/5	0/5	82/84	88/54
28	45	60	7/5	0/5	99/22	108/69
29	4	30	7/5	1	86/74	101/33

ضرایب به‌دست‌آمده از معادلات رگرسیون بالا، square root داده‌ها است. برای به دست آوردن ضرایب واقعی، باید هر یک از این ضرایب به توان 2 رسانده شوند. داده‌های به دست آمده از معادله معنی دار بودند و با استفاده از عدد F و آنالیز واریانس (ANOVA) و فیت کردن داده‌های مربوط به متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ در مدل درجه دوم سطح پاسخ تأیید شدند. معنی‌دار بودن هریک از ضرایب در معادله، با استفاده از t-test و عدد سطح معنی داری در جدول شماره 3 نشان داده شده است. مجموع مربع‌ها (Sum of squared) انحراف نقاط داده را از مقدار میانگین اندازه‌گیری می‌کند. هرقدر این عدد بالاتر باشد، برازش مدل بیش‌تر است. در این مطالعه، عدد 258/72 نشان‌دهنده‌ی مدل معنی‌دار است. میانگین توان دوم خطاها (Mean squared error یا MSE) روشی برای برآورد میزان خطاست که در واقع، تفاوت بین مقادیر تخمینی است با آنچه تخمین زده شده است. هرقدر مقدار آن به صفر نزدیک تر باشد، میزان خطا کم‌تر است. در جدول شماره 3، تمام سطح معناداری کم‌تر از 0/05، نشان دهنده معنی دار بودن آن‌ها هستند. اثر خطی ضرایب X_1، X_2، X_3 و X_4 که به ترتیب، برابر با دما (P=0/0002)، زمان ماند (P=0/0134)، pH (P<0/0001) و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (P<0/0001) هستند، معنی‌دار بود.

اثرهای برهم‌کنش دما و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (P=0/0076) و pH و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (P=0/0054) معنی دار بود. سایر اثرهای برهم‌کنش بین متغیرها معنی‌دار نبود. درباره‌ی ضرایب درجه‌ی دوم متغیرها، متغیر pH (P<0/0001) و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (P=0/0001) معنی‌دار بودند. در این مدل، X_1، X_2، X_3، X_4، X_1X_4 ، X_3X_4، X_3^2 و X_4^2 معنی‌دار بودند. بر اساس آنالیز واریانس (ANOVA) و هم‌چنین بر اساس مدل درجه‌ی دوم، عدد F برابر 36/14، R^2 برابر 0/97 و احتمال کوچک‌تر از 0/0001 بود که درجه‌ی اعتبار این مدل را تأیید می‌کند (جدول شماره 3). بدین طریق که هرقدر عدد F بزرگ‌تر و R^2 به 1 نزدیک‌تر باشد و سطح معنی داری زیر 0/05 باشد، درجه اعتبار مدل بالاتر است. همچنین، همان‌طور که در جدول شماره 2 دیده می‌شود، در مجموع، اعداد به‌دست‌آمده

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

جدول شماره 3: آنالیز واریانس (ANOVA)، تخمین ضرایب رگرسیون و تست معنی داری ناپایداری محلول ها (مدل درجه‌ی دوم)

فاکتور	مجموع مربعات[1]	میانگین مجذورها[2]	درجه‌ی آزادی	ضرایب تخمین زده شده ± SE	عدد F	احتمال (P)>F
عرض از مبدأ (مدل)	258/72	18/48	14	9/10±0/32	36/14	<0/0001
X_1	13/29	13/29	1	1/05±0/21	25/99	0/0002
X_2	4/09	4/09	1	0/58±0/21	8	0/0134
X_3	34/15	43/15	1	-1/90±0/21	84/39	<0/0001
X_4	37/10	37/1	1	1/76±0/21	72/56	<0/0001
X_1X_2	0/02	0/0255	1	-0/08±0/36	0/05	0/8264
X_1X_3	1/32	1/32	1	-0/57±0/36	2/58	0/1306
X_1X_4	4/96	4/96	1	-1/11±0/36	9/71	0/0076
X_2X_3	0/8276	0/8276	1	-0/45±0/36	1/62	0/224
X_2X_4	1/21	1/21	1	-0/55±0/36	2/36	0/1465
X_3X_4	5/51	5/51	1	-1/17±0/36	10/79	0/0054
X_1^2	2/27	2/27	1	0/59±0/28	4/43	0/0538
X_2^2	1/46	1/46	1	-0/47±0/28	2/86	0/1131
X_3^2	127/76	127/76	1	-4/44±0/28	249/89	<0/0001
X_4^2	14/26	14/26	1	-1/48±0/28	27/89	0/0001
Residual	7/16	0/51	14			
مقدار نهایی تصحیح‌شده	265/88		28			

R^2=0.97, Adj. R^2=0.94, Pred. R^2=0.84, and C.V=10.67percent

* R^2 تغییرات یک مدل رگرسیونی را اندازه‌گیری می‌کند و بر اساس داده‌های گذشته است.

Adjusted R-squared تغییر را برای یک مدل رگرسیونی چندگانه اندازه‌گیری می‌کند و کمک می‌کند خوب بودن تناسب تعیین شود.

Predicted R^2 تغییرات یک مدل رگرسیونی را بر اساس داده‌های آینده نشان می‌دهد.

CV نیز ضریب تغییرات داده‌ها را نشان می‌دهد.

از آزمایش‌ها و اعداد پیش‌بینی‌شده توسط مدل دارای فاصله‌ی کمی بودند که این امر نیز نشان‌دهنده‌ی برازندگی مدل و معادلات مربوط به آن است.3D پلات برای نشان دادن اثرهای ترکیبی pH و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها بر میزان ناپایداری محلول‌ها استفاده شده است. سایر متغیرها ثابت و در حد میانه در نظر گرفته‌شده‌اند. همان‌طور که در تصویر شماره 1 دیده می‌شود، با افزایش غلظت اولیه، میزان ناپایداری محلول‌ها افزایش می‌یابد.

همچنین ناپایداری در محلول‌ها با pH خنثی بیشتر از اسیدی و قلیایی است و محلول‌های اسیدی ناپایداری بیشتری نسبت به محلول‌های قلیایی دارند. تغییرات رنگی مشاهده‌شده در تصویر شماره 1 نیز مشخص‌کننده میزان ناپایداری محلول‌ها است. به‌طوری که هرچه از رنگ آبی به سمت رنگ سبز و رنگ قرمز می‌رویم، ناپایداری بیشتر می‌شود. گفتنی است که در این نمودار، ناپایداری محلول‌ها به‌صورت ریشه‌ی دوم نشان داده شده است. برای به دست آورن درصد ناپایداری واقعی، باید اعداد نوشته‌شده روی نمودار به توان دوم برسند. تصویر شماره 2 اثر دما و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها (درصد) را بر ناپایداری آن‌ها نشان می‌دهد. با افزایش دما، میزان ناپایداری محلول‌ها کاهش می‌یابد. درصورتی‌که با افزایش غلظت اولیه، میزان ناپایداری محلول‌ها افزایش می‌یابد.

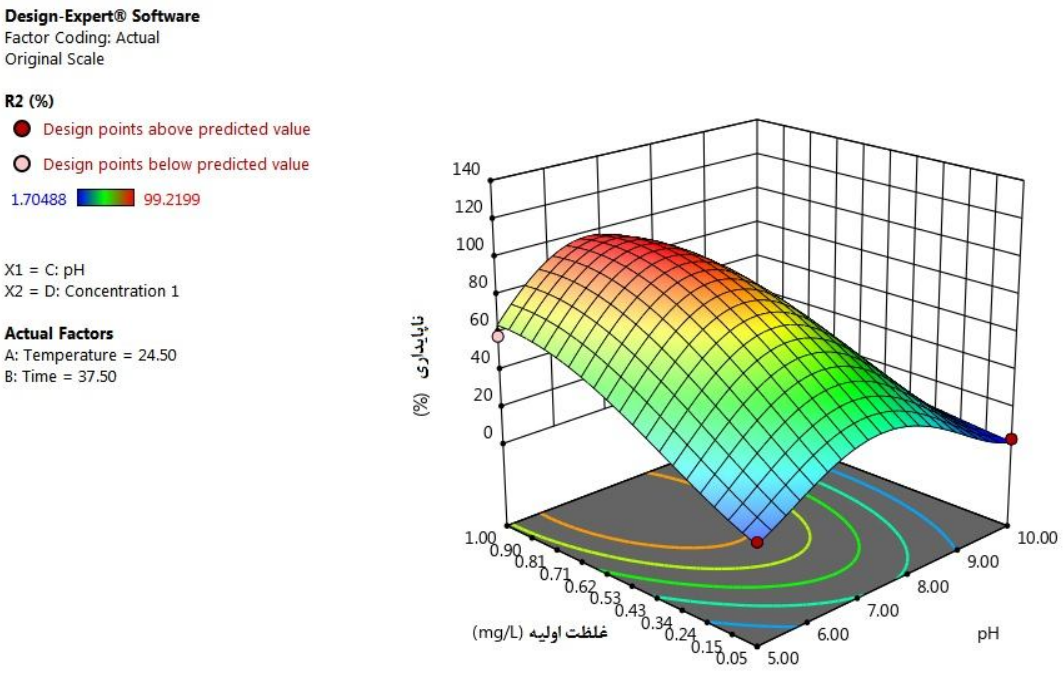
بحث

تأثیر دما بر پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم

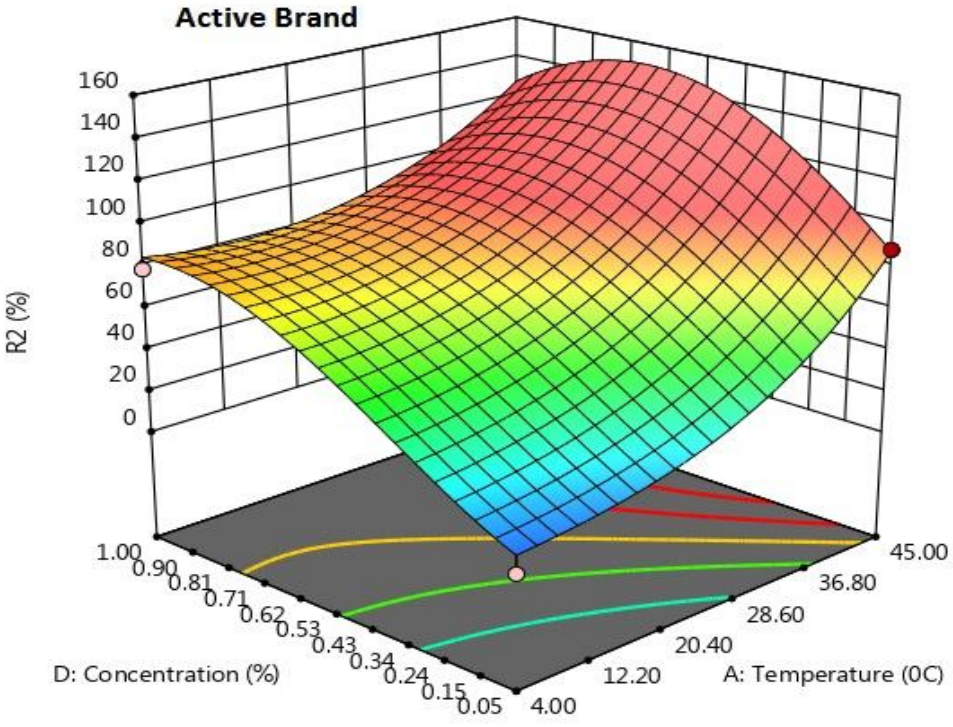
این مطالعه در دمای 4 درجه‌ی سانتی‌گراد در یخچال، در دمای اتاق (میانگین 25 درجه‌ی سانتی گراد) و در دمای 45 درجه سانتی گراد انکوباتور انجام شد.

دمای ذخیره‌سازی بر پایداری محلول‌ها مؤثر بود. باتوجه‌به نتایج، در تمام محلول ها با افزایش دما، میزان پایداری کاهش یافت. مطالعات مشابه به نتایج مشابهی دست یافتند. Qais Iqbal و همکاران در سال 2016، در مطالعه‌ای با عنوان ماندگاری محلول‌های کلر پیشنهادشده در پاسخ به بیماری ویروس ابولا نشان دادند زمانی که دما 35 درجه‌ی سانتی گراد باشد، حداکثر ماندگاری توصیه‌شده (در شرایط تولید و ذخیره‌سازی ایدئال) 30 روز برای محلول‌های NaOCl است. با افزایش دما، کاهش کلر بیشتر می‌شود(12).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]



تصویر شماره 1: 3Dپلات حاصل از مدل نشان دهنده‌ی اثر pH و غلظت اولیه محلول ها (درصد) بر ناپایداری محلول ها



تصویر شماره 2: 3Dپلات حاصل از مدل نشان دهنده‌ی اثر دما و غلظت اولیه‌ی محلول ها (درصد) بر ناپایداری محلول ها

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

Gomes و همکاران در سال 2016، اثر شرایط مختلف نگهداری و زمان نگهداری را بر pH و کلر موجود در محلول های هیپوکلریت کلسیم بررسی کردند. نتایج نشان داد که NaOCl و $Ca(OCl)_2$ پایداری خود را تحت‌تأثیر گرما حفظ کردند (به‌خصوص محلول‌های 0/5 و 1 درصد)(7). برخی از مطالعات گرم کردن محلول‌های NaOCl در دندان‌پزشکی را به این صورت توجیه می‌کنند که افزایش دما باعث افزایش آزادسازی کلر فعال می‌شود که به انحلال پالپ و اثر ضدمیکروبی کمک می‌کند(13،25،26). با این حال، همان‌طور که نتایج مطالعه Frais و همکاران در سال 2001 نشان داد، قرار گرفتن مداوم در معرض گرما به تسریع کاهش کلر تمایل دارد و کارایی محلول‌ها را در طول دوره‌های طولانی ذخیره‌سازی، کاهش می‌دهد(25).

تأثیر زمان ماند بر پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم

در این مطالعه، کلر آزاد موجود در محلول‌ها 15، 30 و 60 روز پس از تهیه، با استفاده از تیتراسیون یدومتری اندازه‌گیری شد. با افزایش زمان ماند از 15 به 60 روز، میزان پایداری این محلول‌ها کاهش یافت. همان‌طور که در مطالعه‌ی Iqbal و همکاران (2016) نشان داده شد، محلول‌های NaOCl را می‌توان بیش از 30 روز نگه داشت. حداکثر ماندگاری توصیه‌شده (در شرایط تولید و نگهداری ایدئال) در دمای 20 الی 35 درجه سانتی‌گراد، برای محلول‌های NaOCl (pH برابر 7) چند ساعت، برای محلول های NaDCC (pH برابر 6) دو روز، برای محلول های NaOCl (pH برابر 9) شش روز و برای محلول های NaOCl تثبیت‌شده و HTH (pH برابر 9 الی 11) بیش‌تر از 30 روز بود(12). Guastalli و همکاران در سال 2015، اثر سورفاکتانت‌ها را بر پایداری آماده‌سازی هیپوکلریت‌سدیم بررسی کردند. نتایج کاهش درخور توجهی در کلر موجود، در مراحل اولیه‌ی آزمایش، نشان داد. با گذشت زمان، کاهش کلر به‌صورت تدریجی صورت گرفت(2). هم‌چنین، مطالعات دیگری نیز کاهش تدریجی مداوم در محلول‌های نگهداری‌شده را گزارش دادند؛ نظیر مطالعه‌ی Nicoletti و همکاران(27)، Rutala و همکاران(16) و Gambarini و همکاران(13).

تأثیر pH بر پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم

کاهش تدریجی pH تمام محلول‌های نگهداری‌شده در شرایط مختلف، در طول زمان، در این مطالعه مشاهده شد. Jean Camps و همکاران عمر ماندگاری، عمل انحلال و فعالیت ضد باکتریایی محلول 2/5درصد هیپوکلریت سدیم خنثی را در سال 2009، بررسی کردند. pH محلول در طی دو ساعت اول، به‌آرامی کاهش یافت (7/3 تا 6/4) و سپس، در طی سه ساعت بعد، با سرعت بیشتری کاهش یافت (6/4 تا 4/9). این تغییر pH ممکن است به دلیل دو پدیده‌ی ترکیبی باشد: 1. محتوای هیدروکسیدسدیم آزاد در محلول NaOCl 10درصد بسیار کم است، کمی اسید می‌تواند به‌راحتی یون‌های OH را خنثی کند؛ 2. HOCl که در محلول NaOCl خنثی‌شده‌ی 2/5درصد غالب است، به‌راحتی به H و Cl تبدیل می‌شود، زیرا تجزیه‌ی HOCl به کلر (Cl_2) و سپس، کلرید (Cl) بسیار سریع است. ازآنجاکه حلالیت Cl_2 در آب بسیار کم است، کلرید از محلول خارج می‌شود. این درباره‌ی یون‌های H صدق نمی‌کند که به کاهش سریع pH منجر می‌شوند. علاوه بر این، هوایی در سطح محلول حاوی CO_2 وجود دارد که می‌تواند در محلول حل شود و اسیدکربنیک (H_2CO_3) تشکیل دهد. این پدیده‌های ترکیبی می‌توانند کاهش pH و محتوای بسیار کم کلر موجود پس از پنج ساعت را توجیه کنند. نتایج مطالعات Johnson و Remeikus (1993)، Fabian و همکاران (1982) و Clarkson و همکاران (2001) خلاف این مطالعه بود. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها حاکی از آن است که محلول‌های NaOCl قلیایی می‌توانند برای هفته‌ها یا ماه‌ها تقریباً پایدار بمانند؛ حتی اگر در معرض نور قرار گیرند، مایع آزمایش باید در دو

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

ساعت اول پس از اختلاط، استفاده شود(8، 28، 30). مطابق تصویر شماره 1 که اثر برهم‌کنش بین pH و غلظت اولیه‌ی محلول‌ها را نشان می‌دهد، به‌طورکلی، با افزایش pH، میزان پایداری محلول‌ها افزایش می‌یابد. کمترین پایداری در pH خنثی مشاهده شد. شرایط اسیدی و قلیایی برای پایداری محلول‌ها مناسب‌تر بود و از میان این دو، شرایط قلیایی مناسب‌تر از شرایط اسیدی بود. در مطالعه Pişkin و همکاران در سال 1995، پایداری محلول‌های مختلف هیپوکلریت‌سدیم بررسی شد. نتایج نشان داد که pH محلول‌های استفاده‌شده در مطالعه‌ی آن‌ها تأثیری بر پایداری ندارد(1). باتوجه‌به نتایج مطالعه‌ی Natalia Gomes وهمکاران درباره‌ی محلول‌های هیپوکلریت‌کلسیم در سال 2016 و همچنین طبق برخی از مطالعات، NaOCl در محلول آبی یونیزه می‌شود تا اسیدهیپوکلروس (HOCl) و یون‌های هیدروکسیل آزاد شود. یون‌های هیپوکلریت (OCl^-) در pH قلیایی غالب هستند، درحالیکه HOCl در pH اسیدی غالب است. HOCl و OCl^- به در دسترس بودن کلر آزاد در محلول کمک می‌کنند. OCl^- به‌عنوان مخزنی برای تشکیل HOCl عمل می‌کند و هنگامی که مصرف می‌شود، کاهش pH در محلول رخ می‌دهد و باعث افزایش آزاد شدن کلر و تغییر ماندگاری می‌شود(7، 31، 32). علاوه بر آن، Johnson و Remeikus در سال 1993، کاهش تدریجی pH محلول‌های NaOCl را از 5/25 درصد تا 1 درصد، در طول زمان، مشاهده کردند(29).

تأثیر غلظت اولیه‌ی محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم بر پایداری آن‌ها

غلظت اولیه محلول‌ها یکی دیگر از عوامل مهم در پایداری آن‌هاست. باتوجه‌به نتایج، مطابق شکل 1، برای غلظت محلول‌های کلردار نتیجه‌ای مشابه دما مشاهده شد، به‌طوری که با افزایش غلظت، میزان پایداری این محلول‌ها کاهش یافت. نتایج مطالعه‌ی Clarkson و همکاران در سال 2001، نشان داد که محلول‌های غلیظ‌تر در مقایسه با محلول‌های رقیق‌تر در طول زمان، بیشتر پایدار می‌مانند(28). در مطالعه Hoffman و همکاران در سال 1981 که پایداری محلول‌های هیپوکلریت‌سدیم را بررسی کردند، کاهش سریع‌تری در محلول رقیق‌نشده (کلر موجود10 درصد) نسبت به محلول رقیق‌شده (1:2) مشاهده شد(33). همچنین، نتایج مطالعه‌ی Pappalardo و همکاران نشان داد که محلول داکین (0/5 درصد کلر موجود) نسبت به اشکال رقیق‌شده، سرعت تجزیه‌ی بیشتری دارد(34). Piskin و Turkun در سال 1995، نتایج متفاوتی را گزارش کردند. محلول‌های NaOCl 5درصد پس از 200 روز نگهداری در دمای اتاق، کاهش 34درصدی در محتوای کلر موجود نشان دادند(1). Frais و همکاران در سال 2001، کاهش 14/1درصدی در محتوای کلر موجود در NaOCl 15درصد را پس از 81 روز، گزارش کردند (25). بنابراین، این مطالعه نشان داد که شرایط مختلف نگهداری محلول هیپوکلریت‌سدیم به‌شدت بر پایداری کلر تأثیر دارد. با افزایش غلظت محلول کلر، افزایش دما و زمان نگهداری، پایداری کلر کاهش می‌یابد. محلول‌های خنثی، پایداری کمتری نسبت به محلول‌های اسیدی و قلیایی نشان دادند؛ لذا توصیه می‌شود که هنگام کاربرد این ترکیب برای گندزدایی، به این عوامل توجه شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از طرح پایان‌نامه‌ی مقطع کارشناسی ارشد مصوب معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران با کد اخلاق IR.MAZUMS..REC.1400.9212 است. بدین‌وسیله، از آن معاونت محترم و کارشناسان آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

References

1. Pişkin B, Türkün M. Stability of various sodium hypochlorite solutions. J Endod 1995; 21(5): 253-255.
2. Guastalli AR, Clarkson RM, Rossi-Fedele G. The effect of surfactants on the stability of sodium hypochlorite preparations. J Endod 2015; 41(8): 1344-1348.
3. Su YS, Morrison III DT, Ogle RA. Chemical kinetics of calcium hypochlorite decomposition in aqueous solutions. Journal of Chemical Health and Safety 2009; 16(3): 21-25.
4. Jefri UHNM, Khan A, Lim YC, Lee KS, Liew KB, Kassab YW, etal. A systematic review on chlorine dioxide as a disinfectant. J Med Life 2022; 15(3): 313-318.
5. Mehendale FV, Clayton G, Homyer KM, Reynolds DM. HOCl vs OCl−: clarification on chlorine-based disinfectants used within clinical settings. Journal of Global Health Reports 2023; 7: e2023052.
6. Byun KH, Han SH, Yoon JW, Park SH, Ha SD. Efficacy of chlorine-based disinfectants (sodium hypochlorite and chlorine dioxide) on Salmonella Enteritidis planktonic cells, biofilms on food contact surfaces and chicken skin. Food Control 2021; 123(2): 107838.
7. Leonardo NGeS, Carlotto IB, Luisi SB, Kopper PMP, Grecca FS, Montagner F. Calcium hypochlorite solutions: evaluation of surface tension and effect of different storage conditions and time periods over pH and available chlorine content. J Endod 2016; 42(4): 641-645.
8. Camps J, Pommel L, Aubut V, Verhille B, Satoshi F, Lascola B, etal. Shelf life, dissolving action, and antibacterial activity of a neutralized 2.5% sodium hypochlorite solution. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009; 108(2): e66-e73.
9. Wan Z, Zhu C, Francisco JS. Molecular Insights into the Spontaneous Generation of Cl2O in the Reaction of ClONO2 and HOCl at the Air–Water Interface. J Am Chem Soc 2023; 145(31): 17478-17484.
10. Nasyrov N, Zaiko E, Grudistova M, Reshchikov M. Evaluating the effect of various types of disinfectants on bacterial biofilms. Theory and Practice Meat Processing 2023; 8(2): 162-167.
11. White GC. White's handbook of chlorination and alternative disinfectants: Wiley; 2010.
12. Iqbal Q, Lubeck-Schricker M, Wells E, Wolfe MK, Lantagne D. Shelf-life of chlorine solutions recommended in Ebola virus disease response. PLoS One 2016; 11(5): e0156136.
13. Gambarini G, De Luca M, Gerosa R. Chemical stability of heated sodium hypochlorite endodontic irrigants. J Endod 1998; 24(6): 432-434.
14. Van der Waal SV, Van Dusseldorp NE, De Soet JJ. An evaluation of the accuracy of labeling of percent sodium hypochlorite on various commercial and professional sources: is sodium hypochlorite from these sources equally suitable for endodontic irrigation? J Endod 2014; 40(12): 2049-2052.
15. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. Journal of Endodontics 2005; 31(9): 669-671.
16. Rutala WA, Cole EC, Thomann CA, Weber DJ. Stability and bactericidal activity of

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

chlorine solutions. Infect Control Hosp Epidemiol 1998; 19(5): 323-327.

17. Dehbandi R, Zazouli MA. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. Lancet Microbe 2020; 1(4): e145.
18. Zazouli MA, Hashempour Y. A Review of the Stability of Coronaviruses in Different Environments. J Mazandaran Univ Med Sci 2021; 31(195): 141-155 (Persian).
19. Lawal-Ayinde BM, Morita T, Oda K, Nazmul T, Kurose M, Nomura T, et al. Virus purification highlights the high susceptibility of SARS-CoV-2 to a chlorine-based disinfectant, chlorous acid. Plos One 2023; 18(7): e0288634.
20. Parveen N, Chowdhury S, Goel S. Environmental impacts of the widespread use of chlorine-based disinfectants during the COVID-19 pandemic. Environ Sci Pollut Res Int 2022; 29(57): 85742-85760.
21. Yazdanbakhsh A, Hashempour Y, Ghaderpouri M. Performance of granular activated carbon/ nanoscale zero-valent iron for removal of humic substances from aqueous solution based on Experimental Design and Response Surface Modeling. Global Nest Journal 2018; 20(1): 57-68.
22. Majlesi M, Hashempour Y. Removal of 4-chlorophenol from aqueous solution by granular activated carbon/nanoscale zero valent iron based on Response Surface Modeling. Archives of Environmental Protection 2017; 43(4): 13-25.
23. Zazouli MA, Veisi F, Veisi A. Modeling Bisphenol A Removal from Aqueous Solution by Activated Carbon and Eggshell. J Mazandaran Univ Med Sci 2012; 21(2): 129-138 (Persian).
24. ASTM. American Society for Testing and MaterialsStandard, Test Methods of Sampling and Chemical Analysis of Chlorine-Containing Bleaches (D2022). 2017. Available from: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/95017/2380d392db9441df84e9b43dfc509407/ASTM-D2022-89-2016-.pdf.
25. Frais S, Ng YL, Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. Int Endod J 2001; 34(3): 206-215.
26. Abou-Rass M, Oglesby SW. The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. J Endod 1981; 7(8): 376-377.
27. Aparecida Nicoletti M, Fernandes Magalhäes J. Influence of the container and environmental factors in the stability of sodium hypochlorite. Bol Oficina Sanit Panam 1996;121(4):301-309.
28. Clarkson RM, Moule AJ, Podlich HM. The shelf-life of sodium hypochlorite irrigating solutions. Aust Dent J 2001;46(4):269-276
29. Johnson BR, Remeikis NA. Effective shelf-life of prepared sodium hypochlorite solution. J Endod 1993; 19(1): 40-43.
30. Fabian TM, Walker SE. Stability of sodium hypochlorite solutions. Am J Hosp Pharm 1982; 39(6): 1016-1017.
31. Dutta A,Saunders WP. Comparative evaluation of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite on soft-tissue dissolution. J Endod 2012; 38(10): 1395-1398.
32. Rossi-Fedele G, Guastalli AR, Doğramacı EJ, Steier L, De Figueiredo JA. Influence of pH changes on chlorine-containing endodontic irrigating solutions. Int Endod J 2011; 44(9): 792-799.
33. Hoffman PN, Death JE, Coates D. The stability of sodium hypochlorite solutions.in :Collins CH, Aiiwood MC, Bloomfield SF. Disinfectants: their use and evaluation of

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]

effectiveness. Academic Press, London; 1981: 77-83.

34. Pappalardo G, Tanner F, Roussianos D, Pannatier A. Efficacy and stability of two chlorine-containing antiseptics. Drugs Exp Clin Res 1986; 12(11): 905-909.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-05-09]