

سرشناسه	: گاتچاک، کریستین (Christiane) Gottschalk, C.
عنوان و نام پدیدآور	: ازن زنی آب و فاضلاب: راهنمای کاربردی برای شناخت ازن و موارد استفاده آن/ نویسندگان کریستین گاتچاک، جودی ا. لیبرا، آدریان ساپ؛ مترجم سهیلا شکرالله زاده.
مشخصات نشر	: تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۴۶۶ص. : مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۳۸۰۰۰۰ ریال ۵-۹-۹۷۲۳۱-۹۷۸-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
عنوان اصلی	: Ozonation of Water and Waste Water: A Practical Guide to Understanding Ozone and its Applications, 2010.
عنوان دیگر	: راهنمای کاربردی برای شناخت ازن و موارد استفاده آن.
موضوع	: آب -- تصفیه -- ازن زنی
موضوع	: Water -- Purification -- Ozonation
موضوع	: فاضلاب -- تصفیه -- ازن زنی
موضوع	: Waste Water -- Purification -- Ozonation
یادداشت	: واژه‌نامه.
شناسه افزوده	: لیبرا، جودی ا. J. A. (Judy A) Libra
شناسه افزوده	: ساپ، آدریان (Adrian) Saupe, A.
شناسه افزوده	: شکرالله زاده، سهیلا، ۱۳۴۲، مترجم
شناسه افزوده	: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
رده بندی کنگره	: الف ۴۲/گ۲ ۴۶۱/۴ TD ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۸/۱۶۶۲
شماره کتاب‌شناسی ملی	: ۵۲۵۹۲۶۸

## سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران



### ازن زنی آب و فاضلاب: راهنمای کاربردی برای شناخت ازن و موارد استفاده آن

مترجم: سهیلا شکرالله زاده

ناشر: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

چاپ و صحافی: افست گرافیک

ناظر چاپ و مجری: نشر پرچین

ویراستار: لیلا اجاقلو، زینب اصغری بیرام، حمیرا شکوهی

طراح روی جلد: سمیه عرب‌لو

قیمت: ۳۸۰۰۰۰ ریال

نشانی: تهران، احمدآباد مستوفی، بعد از میدان پارسا، خیابان انقلاب، خیابان شهید احسانی راد، صندوق پستی: ۱۱۵-۳۷۵۷۵

## فهرست مطالب

۱	بخش اول: مروری بر ازن
۳	فصل اول: سم‌شناسی
۳	۱.۱. پیشینه
۶	۲.۱. ازن در حالت گازی
۶	۱.۲.۱. تنفس
۶	۲.۲.۱. تماس با پوست
۷	۳.۲.۱. تماس با چشم
۸	۳.۱. ازن در حالت مایع
۸	۴.۱. محصولات جانبی
۱۲	منابع
۱۵	فصل دوم: مکانیسم واکنش
۱۵	۱.۲. ازن‌زنی
۱۵	۱.۱.۲. واکنش غیرمستقیم
۱۶	۱.۱.۱.۲. مرحله آغاز
۱۶	۲.۱.۱.۲. واکنش زنجیره‌ای رادیکال
۱۸	۳.۱.۱.۲. مرحله پایان
۱۸	۴.۱.۱.۲. واکنش کلی
۲۰	۲.۱.۲. واکنش مستقیم
۲۴	۲.۲. فرایندهای اکسایش پیشرفته
۲۴	۱.۲.۲. ازن / هیدروژن پراکسید ( $O_3/H_2O_2$ )
۲۵	۲.۲.۲. ازن / تابش UV ( $O_3/UV$ )
۲۶	۳.۲.۲. هیدروژن پراکسید / تابش UV ( $H_2O_2/UV$ )
۲۹	منابع
۳۳	فصل سوم: کاربردهای ازن
۳۳	۱.۳. روند توسعه
۳۹	۲.۳. مروری بر کاربردهای ازن
۴۱	۱.۲.۳. ازن در فاز گازی
۴۳	۲.۲.۳. ازن در فاز مایع

۴۶	..... ۳.۳.۳. ازن در تصفیه آب آشامیدنی
۴۸	..... ۱.۳.۳. گندزدایی
۵۱	..... ۲.۳.۳. اکسایش ترکیبات معدنی
۵۲	..... ۳.۳.۳. اکسایش ترکیبات آلی
۵۲	..... ۱.۳.۳.۳. ماده آلی طبیعی (NOM)
۵۵	..... ۲.۳.۳.۳. ریزآلاینده‌های آلی
۵۸	..... ۴.۳.۳. فرایندهای حذف ذرات جامد
۵۹	..... ۴.۳.۳. ازن‌زنی در تصفیه فاضلاب
۶۰	..... ۱.۴.۳. گندزدایی
۶۲	..... ۲.۴.۳. اکسایش ترکیبات معدنی
۶۳	..... ۳.۴.۳. اکسایش ترکیبات آلی
۶۷	..... ۱.۳.۴.۳. شیرابه زباله‌های دفن‌شده - معدنی‌سازی جزئی
۶۹	..... ۲.۳.۴.۳. فاضلاب‌های نساجی - حذف رنگ و معدنی‌سازی جزئی
۷۰	..... ۳.۳.۴.۳. سایر کاربردها
۷۱	..... ۴.۴.۳. فرایندهای حذف ذرات
۷۲	..... ۵.۳. جنبه‌های اقتصادی ازن‌زنی
۷۶	..... منابع
۸۵	..... <b>بخش دوم: استفاده از ازن</b>
۸۷	..... فصل چهارم: طراحی آزمایش
۸۸	..... ۱.۴. فرایند طراحی آزمایش
۹۲	..... ۲.۴. گام‌های طراحی آزمایش
۹۲	..... ۱.۲.۴. تعریف اهداف
۹۴	..... ۲.۲.۴. تعریف سامانه
۱۰۱	..... ۳.۲.۴. انتخاب روش‌های آزمون و ارزیابی داده‌ها
۱۰۵	..... ۱.۳.۲.۴. ازن
۱۰۶	..... ۲.۳.۲.۴. ترکیب هدف (M)
۱۰۷	..... ۴.۲.۴. تعیین روش آزمایش
۱۰۸	..... ۵.۲.۴. ارزیابی داده‌ها
۱۱۵	..... ۶.۲.۴. تعیین نتایج

۱۲۲	۳.۴ طراحی راکتور .....
۱۲۲	۱.۳.۴ انواع راکتورها .....
۱۲۳	۱.۱.۳.۴ شرایط عملیاتی .....
۱۲۴	۲.۱.۳.۴ همزدگی .....
۱۲۵	۲.۳.۴ مقایسه انواع راکتور .....
۱۳۰	۳.۳.۴ طراحی راکتورهای اکسایش شیمیایی .....
۱۳۱	۱.۳.۳.۴ سامانه واکنش .....
۱۳۴	۲.۳.۳.۴ سامانه‌های جانبی .....
۱۳۵	۳.۳.۳.۴ یکپارچگی فرایند .....
۱۳۵	۴.۳.۳.۴ قابلیت کنترل .....
۱۳۶	۵.۳.۳.۴ یکپارچگی محل اجرا .....
۱۳۶	۴.۴ فهرست‌های طراحی آزمایش .....
۱۳۶	۱.۴.۴ فهرست هر گام از طراحی آزمایش .....
۱۴۰	۵.۴ برگ‌داده‌های ازن .....
۱۴۵	منابع .....
۱۴۷	فصل پنجم: تجهیزات تجربی و شیوه‌های تحلیلی .....
۱۴۷	۱.۵ جنس مواد در تماس با ازن .....
۱۵۱	۱.۱.۵ مواد ساخت در واحدهای مقیاس بزرگ یا پیشتاز .....
۱۵۱	۱.۱.۱.۵ راکتورها .....
۱۵۲	۲.۱.۱.۵ لوله‌کشی .....
۱۵۲	۲.۱.۵ مواد ساخت در واحدهای مقیاس آزمایشگاهی .....
۱۵۳	۱.۲.۱.۵ راکتورها .....
۱۵۴	۲.۲.۱.۵ لوله‌کشی .....
۱۵۴	۲.۵ تولید ازن .....
۱۵۶	۱.۲.۵ ژنراتورهای ازن تخلیه الکتریکی .....
۱۵۹	۱.۱.۲.۵ شیمی .....
۱۶۱	۲.۱.۲.۵ مهندسی و بهره‌برداری .....
۱۶۳	۳.۱.۲.۵ نوع گاز خوراک و تهیه آن .....
۱۶۴	۴.۱.۲.۵ غلظت ازن، ظرفیت تولید و مصرف ویژه انرژی .....

- ۱۶۵.....۵.۱.۲.۵ کاربرد ژنراتورهای ازن تخلیه الکتریکی در آزمون‌های آزمایشگاهی.....
- ۱۶۷.....۲.۲.۵ ژنراتورهای ازن الکترولیزی (ELOG).....
- ۱۶۹.....۱.۲.۲.۵ استفاده از ژنراتورهای ازن الکترولیزی در آزمون‌های تجربی.....
- ۱۷۰.....۳.۵ راکتورهای استفاده شده برای ازن‌زنی.....
- ۱۷۱.....۱.۳.۵ مروری بر رفتار هیدرودینامیکی و انتقال جرم.....
- ۱۷۶.....۲.۳.۵ راکتورهای گازدهی شده مستقیم.....
- ۱۷۷.....۱.۲.۳.۵ ستون‌های حبابی و راکتورهای مشابه.....
- ۱۷۸.....۲.۲.۳.۵ راکتورهای همزده.....
- ۱۷۹.....۳.۳.۵ راکتورهای بدون گازدهی و غیرمستقیم.....
- ۱۸۰.....۱.۳.۳.۵ راکتورهای لوله‌ای.....
- ۱۸۳.....۲.۳.۳.۵ راکتورهای غشایی.....
- ۱۸۶.....۴.۳.۵ انواع تماس‌دهنده‌های گاز.....
- ۱۹۰.....۵.۳.۵ حالت عملیات.....
- ۱۹۱.....۶.۳.۵ آزمون تجربی.....
- ۱۹۱.....۱.۶.۳.۵ آزمون‌های تجربی جریان ناپیوسته.....
- ۱۹۳.....۲.۶.۳.۵ آزمون‌های تجربی جریان پیوسته.....
- ۱۹۳.....۳.۶.۳.۵ ترکیب فرایندها.....
- ۱۹۴.....۴.۵ اندازه‌گیری ازن.....
- ۱۹۴.....۱.۴.۵ شیوه‌ها.....
- ۱۹۴.....۱.۱.۴.۵ یدومتری (گاز و مایع).....
- ۱۹۵.....۲.۱.۴.۵ جذب UV (گاز و مایع).....
- ۱۹۶.....۳.۱.۴.۵ جذب نور مرئی (گاز و مایع).....
- ۱۹۷.....۴.۱.۴.۵ ایندیگو (مایع).....
- ۱۹۷.....۵.۱.۴.۵ N,N - دی اتیل - ۴ و ۱ فنیلن دی آمونیوم - DPD (مایع).....
- ۱۹۸.....۶.۱.۴.۵ نورتابی شیمیایی (CL) (مایع).....
- ۱۹۹.....۷.۱.۴.۵ الکتروود غشایی ازن (مایع).....
- ۲۰۰.....۲.۴.۵ موارد کاربردی اندازه‌گیری ازن.....
- ۲۰۱.....۵.۵ موارد ایمنی.....
- ۲۰۱.....۱.۵.۵ تخریب گاز ازن خروجی.....

۲۰۴	..... ۲.۵.۵. ردیابی ازن هوای محیط
۲۰۵	..... ۶.۵. پرسش‌ها، مشکلات و اشکالات معمول
۲۱۱	..... منابع
۲۱۷	..... فصل ششم: انتقال جرم
۲۱۷	..... ۱.۶. تئوری انتقال جرم
۲۱۹	..... ۱.۱.۶. انتقال جرم در یک فاز
۲۲۰	..... ۲.۱.۶. انتقال جرم بین دو فاز
۲۲۲	..... ۳.۱.۶. غلظت تعادلی برای ازن
۲۲۷	..... ۴.۱.۶. تئوری دو فیلمی
۲۲۸	..... ۲.۶. پارامترهای مؤثر بر انتقال جرم
۲۳۰	..... ۱.۲.۶. انتقال جرم با واکنش‌های شیمیایی هم‌زمان
۲۳۲	..... ۱.۱.۲.۶. همبستگی انتقال جرم و واکنش شیمیایی
۲۳۷	..... ۲.۱.۲.۶. تأثیر رژیم سینتیکی بر تعیین ضرایب انتقال جرم
۲۳۹	..... ۲.۲.۶. پیش‌بینی ضریب انتقال جرم
۲۴۰	..... ۱.۲.۲.۶. ضریب تنا- ضریب تصحیح برای دما
۲۴۱	..... ۲.۲.۲.۶. ضریب آلفا- ضریب تصحیح برای ترکیب آب
۲۴۲	..... ۳.۲.۶. اثر ترکیبات آب در انتقال جرم
۲۴۲	..... ۱.۳.۲.۶. تغییر در ائتلاف حباب
۲۴۳	..... ۲.۳.۲.۶. تغییر در کشش سطحی
۲۴۵	..... ۳.۶. تعیین ضرایب انتقال جرم
۲۴۶	..... ۱.۳.۶. انتخاب بین تعیین مستقیم یا غیرمستقیم $k_{La}(O_3)$
۲۴۷	..... ۲.۳.۶. شرایط کلی آزمایش و روش‌های ارزیابی
۲۴۹	..... ۱.۲.۳.۶. غلظت تعادلی $c_L^*$
۲۵۰	..... ۳.۳.۶. روش‌های حالت ناپایا بدون افزایش انتقال جرم
۲۵۱	..... ۱.۳.۳.۶. مدل جریان ناپیوسته
۲۵۱	..... ۲.۳.۳.۶. روش تجربی
۲۵۲	..... ۳.۳.۳.۶. مدل جریان پیوسته
۲۵۳	..... ۴.۳.۳.۶. روش تجربی
۲۵۳	..... ۴.۳.۶. روش‌های حالت پایا بدون افزایش انتقال جرم

۲۵۴	..... ۱.۴.۳.۶ مدل‌های جریان پیوسته و نیمه پیوسته
۲۵۵	..... ۲.۴.۳.۶ روش تجربی
۲۵۶	..... ۳.۴.۳.۶ تعیین هم‌زمان $k_{La}$ و $n_L$
۲۵۶	..... ۵.۳.۶ روش‌های با افزایش انتقال جرم
۲۵۸	..... ۱.۵.۳.۶ روش تجربی
۲۵۸	..... ۶.۳.۶ مشکلات تعیین ضرایب انتقال جرم
۲۵۹	..... ۱.۶.۳.۶ روش حالت ناپایا
۲۶۰	..... ۲.۶.۳.۶ روش حالت پایا
۲۶۲	..... منابع
۲۶۷	..... فصل هفتم: سینتیک واکنش
۲۶۷	..... ۱.۱.۷ درجه واکنش
۲۷۱	..... ۱.۱.۷ روش تجربی برای تعیین درجه واکنش $n$
۲۷۲	..... ۱.۱.۱.۷ روش نیمه عمر
۲۷۳	..... ۲.۱.۱.۷ روش سرعت اولیه واکنش
۲۷۳	..... ۳.۱.۱.۷ سعی و خطا
۲۷۵	..... ۲.۲.۷ ثابت‌های سرعت واکنش
۲۷۶	..... ۱.۲.۷ تعیین ثابت‌های سرعت
۲۸۰	..... ۳.۷ عوامل مؤثر بر سرعت واکنش
۲۸۰	..... ۱.۳.۷ غلظت اکسندها
۲۸۰	..... ۱.۱.۳.۷ واکنش‌های مستقیم
۲۸۱	..... ۲.۱.۳.۷ واکنش‌های غیرمستقیم یا رادیکالی هیدروکسیل
۲۸۲	..... ۲.۳.۷ وابستگی به دما
۲۸۲	..... ۳.۳.۷ اثر pH
۲۸۳	..... ۴.۳.۷ اثر کربن معدنی
۲۸۴	..... ۵.۳.۷ اثر نمک‌های معدنی
۲۸۵	..... ۶.۳.۷ اثر کربن آلی بر مکانیسم واکنش زنجیره‌ای رادیکالی
۲۸۸	..... منابع
۲۹۳	..... فصل هشتم: مدل‌سازی فرایندهای ازن‌زنی
۲۹۶	..... ۱.۱.۸ مدل‌سازی ازن

۲۹۷	۱.۱.۸. مشکلات مدل سازی ازن.....
۳۰۰	۲.۱.۸. مدل شیمیایی ازن زنی.....
۳۰۱	۳.۱.۸. مدل ریاضی ازن زنی.....
۳۰۲	۱.۳.۱.۸. موازنه های جرم.....
۳۰۳	۲.۳.۱.۸. معادلات سرعت.....
۳۰۴	۳.۳.۱.۸. حل مدل.....
۳۰۶	۴.۱.۸. خلاصه.....
۳۰۷	۲.۸. مدل سازی اکسایش آب آشامیدنی.....
۳۰۷	۱.۲.۸. مدل های شیمیایی و ریاضی.....
۳۱۱	۲.۲.۸. روش های تعیین غلظت رادیکال هیدروکسیل.....
۳۱۱	۱.۲.۲.۸. اندازه گیری غیرمستقیم.....
۳۱۴	۲.۲.۲.۸. مکانیسم واکنش زنجیره ای رادیکال کامل.....
۳۱۵	۳.۲.۲. روش نیمه تجربی بر مبنای پارامترهای قابل مشاهده.....
۳۱۷	۴.۲.۲.۸. روش نیمه تجربی بر مبنای سرعت اولیه رادیکال هیدروکسیل.....
۳۱۹	۵.۲.۲.۸. گزینش پذیری تجربی رباینده ها.....
۳۲۱	۶.۲.۲.۸. خلاصه ای از مدل های شیمیایی و ریاضی برای آب آشامیدنی.....
۳۲۱	۳.۲.۸. مدل های حاوی فرایندهای فیزیکی.....
۳۲۲	۳.۸. مدل سازی اکسایش فاضلاب.....
۳۲۳	۱.۳.۸. مدل های شیمیایی و ریاضی.....
۳۳۵	۲.۳.۸. مدل های تجربی.....
۳۳۶	۳.۳.۸. خلاصه.....
۳۳۷	۴.۸. توضیح آخر در مورد مدل سازی.....
۳۴۰	منابع.....
۳۴۳	فصل نهم: کاربرد ازن در فرایندهای ترکیبی.....
۳۴۴	۱.۹. فرایندهای اکسایش پیشرفته.....
۳۴۵	۱.۱.۹. فرایندهای اکسایش پیشرفته شیمیایی.....
۳۴۵	۱.۱.۱.۹. اصول و اهداف.....
۳۴۶	۲.۱.۱.۹. فرایندهای موجود.....
۳۴۹	۳.۱.۱.۹. طراحی آزمایش.....



۳۵۱	.....	۲.۱.۹	ازن زنی کاتالیستی
۳۵۲	.....	۱.۲.۱.۹	اصول و اهداف
۳۵۴	.....	۲.۲.۱.۹	فرایندهای موجود و پژوهش‌های جاری
۳۵۹	.....	۳.۲.۱.۹	طراحی آزمایش
۳۶۱	.....	۲.۹	سامانه‌های سه فازی
۳۶۲	.....	۱.۲.۹	اصول و اهداف
۳۶۳	.....	۱.۱.۲.۹	سامانه گاز / آب / حلال
۳۶۴	.....	۲.۱.۲.۹	سامانه گاز / آب / جامد
۳۶۵	.....	۲.۲.۹	انتقال جرم در سامانه‌های سه فازی
۳۶۸	.....	۳.۲.۹	فرایندهای موجود و پژوهش‌های جاری
۳۶۸	.....	۱.۳.۲.۹	سامانه‌های گاز / آب / حلال
۳۷۱	.....	۲.۳.۲.۹	سامانه‌های گاز / آب / جامد
۳۷۱	.....	۳.۳.۲.۹	تغییر در مواد جامد
۳۷۵	.....	۴. ۳.۲.۹	تغییر در ترکیبات جذب‌شده بر روی مواد جامد
۳۷۵	.....	۵.۳.۲.۹	ازن زنی خاک
۳۷۷	.....	۶.۳.۲.۹	احیاء جاذب
۳۷۸	.....	۴.۲.۹	طراحی آزمایش
۳۷۸	.....	۱.۴.۲.۹	تعریف سامانه
۳۷۹	.....	۲.۴.۲.۹	انتخاب روش‌های اندازه‌گیری
۳۸۰	.....	۳.۴.۲.۹	تعیین روش آزمایش
۳۸۱	.....	۴.۴.۲.۹	ارزیابی داده‌ها و بررسی نتایج
۳۸۱	.....	۳.۹	فرایندهای شیمیایی - زیستی (CBP)
۳۸۲	.....	۱.۳.۹	اصول و اهداف
۳۸۷	.....	۲.۳.۹	فرایندهای موجود و پژوهش‌های جاری
۳۸۸	.....	۱.۲.۳.۹	کاربردهای آب آشامیدنی
۳۹۱	.....	۲.۲.۳.۹	کاربردهای فاضلاب
۴۰۳	.....	۳.۳.۹	طراحی آزمایش
۴۰۶	.....	۱.۳.۳.۹	تعریف سامانه
۴۱۰	.....	۲.۳.۳.۹	انتخاب روش‌های تحلیلی

۴۱۳	..... تعیین روش تجربی	۳. ۳.۳.۹
۴۱۷	..... ارزیابی داده‌ها	۴.۳.۳.۹
۴۱۷	..... ارزیابی نتایج	۵.۳.۳.۹
۴۲۰	..... کاربردها در صنعت نیمه‌رسانا	۴.۹
۴۲۱	..... مراحل تولید	۱.۴.۹
۴۲۲	..... اصول و اهداف	۲.۴.۹
۴۲۴	..... فرایندهای موجود برای تمیزکردن و اکسایش	۳.۴.۹
۴۲۸	..... طراحی فرایند و یا روش تجربی	۴.۴.۹
۴۲۸	..... ۱. تعریف سامانه	۱.۴.۴.۹
۴۲۸	..... ۲. انتخاب روش‌های اندازه‌گیری	۲.۴.۴.۹
۴۲۸	..... ۳. تعیین روش	۳. ۴.۴.۹
۴۲۹	..... ارزیابی داده‌ها و نتایج	۴.۴.۴.۹
۴۳۰	..... منابع	
۴۴۳	..... علائم اختصاری	
۴۵۵	..... واژه‌نامه	