



مبانی تصفیه پساب‌های محتوی ترکیبات آلی  
بوسیله فرآیندهای  
جذب سطحی و فوتوکاتالیستی ناهمگن

---

مؤلفین:

دکتر عباس رجبی ابهری

دکتر زهرا محمودی

|                     |                                                                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : رجبی ابهری، عباس، ۱۳۶۶-                                                                                                       |
| عنوان و نام پدیدآور | : مبانی تصفیه پساب های محتوی ترکیبات آلی بوسیله فرایندهای جذب سطحی و فوتوکاتالیستی ناهمگن/ مولفین عباس رجبی ابهری، زهرا محمودی. |
| مشخصات نشر          | : قم: آثار نفیس، ۱۳۹۸.                                                                                                          |
| مشخصات ظاهری        | : ۴۰۵ ص.                                                                                                                        |
| شابک                | : ۸۰۰۰۰۰ ریال ۶-۷۹۶۶۴-۹۷۸-۶۰۰                                                                                                   |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیبا                                                                                                                          |
| موضوع               | : فاضلاب -- تصفیه -- جذب سطحی                                                                                                   |
| موضوع               | : Sewage -- Purification -- Adsorption                                                                                          |
| موضوع               | : آب -- تصفیه -- جذب سطحی                                                                                                       |
| موضوع               | : Water -- Purification -- Adsorption                                                                                           |
| موضوع               | : فاضلاب -- تصفیه -- کاتالیز نوری                                                                                               |
| موضوع               | : Sewage -- Purification -- Photocatalysis                                                                                      |
| موضوع               | : آب -- تصفیه -- کاتالیز نوری                                                                                                   |
| موضوع               | : Water -- Purification -- Photocatalysis                                                                                       |
| شناسه افزوده        | : محمودی، زهرا،                                                                                                                 |
| رده بندی کنگره      | : TD ۷۵۳/۵                                                                                                                      |
| رده بندی دیویی      | : ۶۲۸/۳                                                                                                                         |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۶۰۳۷۸۴۳                                                                                                                       |

نام کتاب: مبانی تصفیه پساب های محتوی ترکیبات آلی بوسیله فرایندهای جذب سطحی و فوتوکاتالیستی ناهمگن

تالیف: دکتر عباس رجبی ابهری، دکتر زهرا محمودی

چاپ اول: ۱۳۹۸

ناشر: انتشارات آثار نفیس

شابک:

ISBN- ۹۷۸-۶۰۰-۷۹۶۶۴-۶۴-۴

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۸۰۰۰۰۰ ریال



کلیه حقوق برای مؤلف/ ناشر محفوظ می باشد.

▪ آدرس پستی: قم - انتشارات آثار نفیس - صندوق پستی ۳۷۱۶۵/۱۶۵

▪ انتشارات: ۰۲۵۳۳۲۸۰۴۶۳۴ مدیر مسئول: ۰۹۱۲۵۵۲۴۰۰۷

فروشگاه اینترنتی: [www.Shopnafis114.com](http://www.Shopnafis114.com) - [www.Shopnafis114.i](http://www.Shopnafis114.i)

## فهرست

| صفحه    | عنوان                                                                          |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ۱.....  | پیش گفتار .....                                                                |
| ۳.....  | فصل اول: اهمیت آب و ضرورت تصفیه آن .....                                       |
| ۴.....  | ۱-۱ منبع تشکیل آب و پیدایش حیات بر روی کره زمین .....                          |
| ۵.....  | ۲-۱ چرخه هیدرولوژی .....                                                       |
| ۶.....  | ۳-۱ چگونگی توزیع آب در سطح زمین .....                                          |
| ۸.....  | ۴-۱ کمبود آب و اثرات آن بر سلامت فردی و عمومی جوامع .....                      |
| ۱۰..... | ۵-۱ توسعه صنعت و آثار نامطلوب آن بر روی منابع آبی .....                        |
| ۱۱..... | ۶-۱ روند رشد جمعیت جهان و کاهش منابع آب شیرین .....                            |
| ۱۳..... | ۷-۱ توزیع مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی .....                      |
| ۱۴..... | ۸-۱ آلودگی محیط‌زیست و منابع آلوده کننده آب .....                              |
| ۱۹..... | ۹-۱ صنعت نساجی .....                                                           |
| ۲۱..... | ۱-۹-۱ کیفیت پساب صنایع نساجی و آثار نامطلوب آن بر روی محیط‌زیست .....          |
| ۲۵..... | ۱-۱۰-۱ تاریخچه تصفیه آب .....                                                  |
| ۱۱-۱    | روش‌های متداول جهت تصفیه پساب‌های محتوی ترکیبات رنگزاهای آلی موجود در          |
| ۲۶..... | پساب‌های صنعتی .....                                                           |
| ۲۸..... | ۱۲-۱ بکارگیری روش‌های تکمیلی در جهت حذف رنگزاهای آلی موجود در پساب صنایع ..... |
| ۳۱..... | فصل دوم: شیمی فیزیک آب .....                                                   |
| ۳۲..... | ۱-۲ فرمول، جرم مولکولی و تعیین درصد عناصر تشکیل دهنده آب معمولی .....          |
| ۳۳..... | ۲-۲ چگونگی تشکیل مولکول آب .....                                               |
| ۳۴..... | ۳-۲ ایزومرهای آب .....                                                         |
| ۳۵..... | ۴-۲ شکل هندسی و گروه نقطه‌ای مولکول آب .....                                   |
| ۳۶..... | ۵-۲ قطبیت شیمیایی در ساختار مولکولی آب .....                                   |
| ۳۸..... | ۶-۲ پیوند هیدروژنی بین مولکولی آب .....                                        |
| ۴۲..... | ۷-۲ نقطه جوش، فشار بخار و نقطه انجماد آب معمولی .....                          |
| ۴۳..... | ۱-۷-۲ اثر وجود ناخالصی بر روی دمای جوش، فشار بخار و نقطه انجماد آب خالص .....  |
| ۴۵..... | ۸-۲ مقاومت و هدایت الکتریکی آب .....                                           |
| ۴۸..... | ۱-۸-۲ الکترولیت و غیر الکترولیت .....                                          |
| ۵۲..... | ۹-۲ ایزوتوپ‌های اتم‌های تشکیل دهنده آب .....                                   |

- ۱۰-۲ ظرفیت گرمایی ویژه آب ..... ۵۲
- ۱۱-۲ ترکیبات موجود در آب ..... ۵۴
- ۱۲-۲ دی‌اگرام فازي آب ..... ۵۵

### فصل سوم: چگالی مایعات، محلول‌های آبی و گازها ..... ۵۷

- ۱-۳ چگالی ..... ۵۸
- ۲-۳ بررسی اثر تغییرات دما بر روی چگالی مایعات ..... ۵۹
- ۳-۳ اثر ناخالصی بر روی دانسیته مایعات ..... ۶۲
- ۴-۳ بررسی اثر تغییرات دما بر روی دانسیته گازها ..... ۶۳

### فصل چهارم: سختی آب ..... ۶۷

- ۱-۴ آب سخت ..... ۶۸
- ۲-۴ انواع سختی و روش‌های متداول حذف آن‌ها ..... ۶۹
- ۳-۴ ثابت حاصلضرب انحلال پذیری یا ثابت  $K_{sp}$  ..... ۷۲
- ۴-۴ فرآیند تبادل یون ..... ۷۷

### فصل پنجم: قلیابیت و اسیدیته آب ..... ۷۹

- ۱-۵ تعریف اسید و باز ..... ۸۰
- ۱-۱-۵ تعریف آرنیوس از اسید و باز ..... ۸۰
- ۲-۱-۵ تعریف لوری - برونشتد از اسید و باز ..... ۸۰
- ۳-۱-۵ تعریف لوئیس از اسید و باز ..... ۸۱
- ۲-۵ خالصیت آمفوتری آب ..... ۸۱
- ۳-۵ pH و pOH ..... ۸۲
- ۴-۵ محلول‌های تلمپون یا بافر ..... ۸۹
- ۱-۴-۵ رابطه هندرسون - هسل باخ ..... ۹۱
- ۱-۴-۵-۱ مکانیسم عملکرد محلول بافر در محلول آبی ..... ۹۲
- ۵-۵ قلیابیت و اسیدیته ..... ۹۶
- ۱-۵-۵ تعیین میزان قلیابیت ..... ۹۷

### فصل ششم: مواد جامد محلول و معلق موجود در آب ..... ۱۰۱

- ۱-۶ تغییر در کدورت (Turbidity) و هدایت الکتریکی آب ..... ۱۰۲

۲-۶ رابطه TDS با EC ..... ۱۰۴

۳-۶ تعیین راندمان حذف کدورت و TDS ..... ۱۰۵

فصل هفتم: تخمین بار آلودگی شیمیایی و بیوشیمیایی آب ..... ۱۰۷

۱-۷ اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) ..... ۱۰۸

۲-۷ اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD) ..... ۱۱۰

۳-۷ کل کربن آلی (TOC) ..... ۱۱۱

فصل هشتم: ترکیبات رنگزای آلی ..... ۱۱۳

۱-۸ رنگ ..... ۱۱۴

۲-۸ بررسی عوامل ایجاد کننده رنگ ..... ۱۱۴

۱-۲-۸ کروموفورها و آکسوکروم ها ..... ۱۱۵

۳-۸ انواع رنگزاهای سنتزی آلی ..... ۱۱۹

۱-۳-۸ رنگزاهای اسیدی ..... ۱۲۰

۲-۳-۸ رنگزاهای بازی ..... ۱۲۱

۳-۳-۸ رنگزاهای مستقیم ..... ۱۲۱

۴-۳-۸ رنگزاهای موردنت ..... ۱۲۲

۵-۳-۸ رنگزاهای خمرهای (وَت) ..... ۱۲۳

۶-۳-۸ رنگزاهای راکتیو ..... ۱۲۳

۷-۳-۸ رنگزاهای دیسپرس ..... ۱۲۴

۸-۳-۸ رنگزاهای آزوئیک ..... ۱۲۴

۹-۳-۸ رنگزاهای گوگردی ..... ۱۲۵

فصل نهم: محلول سازی و آشنایی با مفاهیم غلظت ..... ۱۲۷

۱-۹ اهمیت محلول سازی ..... ۱۲۸

۲-۹ جرم مولکولی ترکیبت ..... ۱۲۹

۳-۹ غلظت معمولی ..... ۱۳۰

۴-۹ غلظت مولار یا مولاریته ..... ۱۳۴

۵-۹ مفهوم هم ارز گرم ..... ۱۳۷

۱-۵-۹ ظرفیت اسیدله بازها و نمک ها ..... ۱۳۸

۶-۹ غلظت نرمال یا نرمالیه ..... ۱۳۸

- ۷-۹ غلظت مولال یا مولالیته ..... ۱۴۳
- ۸-۹ غلظت فرمال یا فرمالیته ..... ۱۴۵
- ۱۰-۹ غلظت‌های ppm و ppb ..... ۱۴۶
- ۱-۱۰-۹ ساخت محلول‌های محتوی کاتیون یا آنیون با غلظت مشخص در واحد ppm ..... ۱۴۹
- ۱۱-۹ درصد وزنی وزنی (%W/W) ..... ۱۵۰
- ۱۲-۹ درصد وزنی حجمی (%W/V) ..... ۱۵۰
- ۱۳-۹ درصد حجمی حجمی (%V/V) ..... ۱۵۱
- ۱۴-۹ تفاوت غلظت و دوز ..... ۱۵۱

### فصل دهم: روش طیف سنجی UV-Vis و اندازه‌گیری کمی تغییرات غلظت ترکیبات رنگزای

- محلول در آب (اسپکتروفتووتری و غلظت) ..... ۱۵۳
- ۱-۱۰ اهمیت طیف سنجی UV-Vis ..... ۱۵۴
- ۲-۱۰ امواج الکترومغناطیس ..... ۱۵۴
- ۳-۱۰ دستگاه طیف سنج نوری UV-Vis ..... ۱۵۶
- ۱-۳-۱۰ منابع نوری در دستگاه‌های طیف سنج نوری UV-Vis ..... ۱۶۰
- ۲-۳-۱۰ مونوکروماتور یا تکفلم ساز ..... ۱۶۰
- ۳-۳-۱۰ سل یا کووت ..... ۱۶۰
- ۴-۳-۱۰ متمرکز کننده پرتوی نوری ..... ۱۶۲
- ۵-۳-۱۰ آشکارساز یا دتکتور ..... ۱۶۲
- ۴-۱۰ محلول شاهد ..... ۱۶۲
- ۵-۱۰ قانون بیر - لامبرت ..... ۱۶۲
- ۶-۱۰ رابطه جذب (A)، عبور (T) و درصد عبور (%T) ..... ۱۶۵
- ۷-۱۰ محاسبه راندمان حذف ..... ۱۶۶
- ۸-۱۰ رسم منحنی کالیبراسیون و تعیین ضریب جذب مولی برای نمونه‌ای از یک رنگزای آلی ..... ۱۶۸
- ۹-۱۰ کاربرد ضریب جذب مولی در آزمایش ..... ۱۷۱

### فصل یازدهم: حذف ترکیبات آلی بوسیله فرایند جذب سطحی ..... ۱۷۹

- ۱-۱۱ مفاهیم پایه‌ای و تعاریف در فرایند جذب سطحی ..... ۱۸۰
- ۲-۱۱ بررسی انواع مدل‌های جذب سطحی ..... ۱۸۱
- ۱-۲-۱۱ جذب سطحی فیزیکی ..... ۱۸۱
- ۲-۲-۱۱ جذب سطحی شیمیایی ..... ۱۸۲
- ۳-۲-۱۱ جذب سطحی تبادل ..... ۱۸۲

|          |                                                                                      |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۸۵..... | ۳-۱۱ مکانیسم عمومی جذب سطحی.....                                                     |
| ۱۸۷..... | ۴-۱۱ عبارات بنیادی در فرآیند جذب سطحی.....                                           |
| ۱۸۷..... | ۱-۴-۱۱ فاز مایع.....                                                                 |
| ۱۸۸..... | ۲-۴-۱۱ فاز جامد.....                                                                 |
| ۱۸۸..... | ۳-۴-۱۱ جذب و جذب شونده.....                                                          |
| ۱۸۸..... | ۴-۴-۱۱ سطح جانب و فاز جذب سطحی شده.....                                              |
| ۱۸۸..... | ۵-۴-۱۱ واجنب.....                                                                    |
| ۱۸۹..... | ۵-۱۱ تفاوت جذب سطحی و جذب.....                                                       |
| ۱۹۰..... | ۶-۱۱ مهندسی جذب سطحی در فرآیند تصفیه آب.....                                         |
| ۱۹۰..... | ۱-۶-۱۱ تصفیه آب آشامیدنی با استفاده از کربن فعال (اکتیو) بوسیله فرآیند جذب سطحی..... |
| ۱۹۱..... | .....                                                                                |
| ۱۹۳..... | ۷-۱۱ تصفیه پساب با استفاده از تکنولوژی جذب سطحی.....                                 |
| ۱۹۴..... | ۸-۱۱ فرآیندهای ترکیبی جذب سطحی-بیولوژیکی.....                                        |
| ۱۹۶..... | ۹-۱۱ بررسی پارامترهای موثر بر روی فرآیند جذب سطحی رنگزاهای آلی.....                  |
| ۱۹۶..... | ۱-۹-۱۱ دوز مورد استفاده از جانب در محلول.....                                        |
| ۱۹۷..... | ۲-۹-۱۱ pH محیط مورد آزمایش.....                                                      |
| ۱۹۷..... | ۳-۹-۱۱ دمای محلول (مطالعه ترمودینامیکی فرآیند).....                                  |
| ۱۹۸..... | ۴-۹-۱۱ شدت همزدن (دور همزن) در سیستم‌های سوسپانسیونی.....                            |
| ۱۹۹..... | ۵-۹-۱۱ غلظت اولیه ترکیب یا ترکیبات آلی و معدنی (مطالعه سینتیکی فرآیند).....          |
| ۱۹۹..... | ۶-۹-۱۱ زمان فرآیند حذف.....                                                          |
| ۲۰۱..... | ۱۰-۱۱ کلیات بررسی ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی.....                                  |
| ۲۰۳..... | ۱۱-۱۱ تئوری جذب سطحی.....                                                            |
| ۲۰۵..... | ۱۲-۱۱ جذب سطحی تک حل شونده.....                                                      |
| ۲۰۷..... | ۱۳-۱۱ مبانی تعیین تجربی داده‌های تعادل.....                                          |
| ۲۱۳..... | ۱۴-۱۱ جنبه‌های عملی تعیین ایزوترم.....                                               |
| ۲۱۵..... | ۱۵-۱۱ طبقه‌بندی معادلات ایزوترم برای تک حل شونده.....                                |
| ۲۱۶..... | ۱-۱۵-۱۱ تعداد پارامترهایی که باید از داده‌های تجربی تعیین شوند.....                  |
| ۲۱۶..... | ۱۶-۱۱ ایزوترم برگشت ناپذیر و ایزوترم تک پارامتری.....                                |
| ۲۱۸..... | ۱۷-۱۱ ایزوترم‌های دو پارامتری.....                                                   |
| ۲۱۸..... | ۱-۱۷-۱۱ ایزوترم لانگمویر.....                                                        |
| ۲۱۸..... | ۱-۱۷-۱۱ تعیین ثابت تعادل لانگمویر و بیشینه ظرفیت جاذب از روی نمودار ایزوترم.....     |
| ۲۲۱..... | لانگمویر.....                                                                        |

- ۱۷-۱۱-۲ ایزوترم فروندلیچ ..... ۲۲۴
- ۱۷-۱۱-۲-۲ تعیین ثابت تعادل فروندلیچ و  $\frac{1}{n}$  ..... ۲۲۸
- ۱۷-۱۱-۳ جذب ایزوترم تمکین ..... ۲۳۰
- ۱۷-۱۱-۴ ایزوترم فلوری - هاگینز ..... ۲۳۲
- ۱۷-۱۱-۵ ایزوترم دوبینین - رادشکوچ (DR) ..... ۲۳۴
- ۱۷-۱۱-۶ مدل ایزوترم الوویچ ..... ۲۳۷
- ۱۷-۱۱-۷ مدل ایزوترم جووانوویچ ..... ۲۳۸
- ۱۷-۱۱-۸ ایزوترم BET ..... ۲۴۰
- ۱۷-۱۱-۹ ایزوترم والمر ..... ۲۴۱
- ۱۸-۱۱ ایزوترمهای سه پارامتری ..... ۲۴۲
- ۱۹-۱۱ معادلات ایزوترم با بیش از سه پارامتر ..... ۲۴۵
- ۲۰-۱۱ پیش‌بینی ایزوترم‌ها ..... ۲۴۷
- ۲۱-۱۱ ترمودینامیک جذب سطحی ..... ۲۵۰
- ۲۲-۱۱ سینتیک جذب سطحی ..... ۲۵۲
- ۲۲-۱۱-۱ سینتیک جذب سطحی شبه مرتبه اول ..... ۲۵۲
- ۲۲-۱۱-۲ سینتیک جذب سطحی شبه مرتبه دوم ..... ۲۵۳
- ۲۲-۱۱-۳ معادله سینتیکی الوویچ در جذب سطحی ..... ۲۵۴
- ۲۲-۱۱-۴ معادله سینتیکی نفوذ بین‌ذره‌ای ..... ۲۵۴
- ۲۳-۱۱ بررسی جامع یک مثال کاربردی ..... ۲۵۵
- ۲۳-۱۱-۱ مطالعه رنگزای آلی ..... ۲۵۶
- ۲۳-۱۱-۱-۱ تعیین طول موج بیشینه رنگزا ..... ۲۵۶
- ۲۳-۱۱-۲ بررسی پایداری ساختار مولکولی رنگزای BV۱۶ در pHهای متفاوت ..... ۲۵۷
- ۲۳-۱۱-۳ رسم منحنی کالیبراسیون و تعیین ضریب جذب مولی یا ضریب خاموشی (E) رنگزای BV۱۶ ..... ۲۵۹
- ۲۳-۱۱-۲ تعیین نقطه بار صفر جاذب  $pH_{PZC}$  ..... ۲۶۱
- ۲۳-۱۱-۳ محاسبه میزان عبور و درصد آن ..... ۲۶۴
- ۲۳-۱۱-۴ تعیین غلظت تعادلی ( $C_e$ ) ..... ۲۶۶
- ۲۳-۱۱-۵ تعیین ظرفیت تعادلی ( $q_e$ ) ..... ۲۶۹
- ۲۳-۱۱-۶ تعیین خطوط عملیاتی فرآیند جذب سطحی ..... ۲۷۱
- ۲۳-۱۱-۷ بررسی ایزوترم تک پارامتری ..... ۲۷۳
- ۲۳-۱۱-۸ بررسی ایزوترم‌های دو پارامتری ..... ۲۷۴
- ۲۳-۱۱-۸-۱ تطبیق داده‌های تجربی با ایزوترم لانگمویر ..... ۲۷۴

- ۲۷۷..... ۱۱-۲۳-۲-۸ تطبیق داده‌های تجربی با ایزوترم فروندلیچ
- ۲۸۱..... ۱۱-۲۳-۳-۸ تطبیق داده‌های تجربی با ایزوترم تمکین
- ۲۸۲..... ۱۱-۲۳-۴-۸ تطبیق داده‌های تجربی با ایزوترم فلوری - هاگینز
- ۲۸۳..... ۱۱-۲۳-۵-۸ تطبیق داده‌های تجربی با ایزوترم دوبینین - رادشکوچ (DR)
- ۲۸۵..... ۱۱-۲۳-۶-۸ تطبیق داده‌های تجربی با مدل ایزوترم الووچ
- ۲۸۷..... ۱۱-۲۳-۷-۸ تطبیق داده‌های تجربی با مدل ایزوترم جووانوویچ
- ۲۸۸..... ۱۱-۲۳-۹-۲۳ مطالعه سینتیکی فرآیند
- ۲۸۸..... ۱۱-۲۳-۱-۹ تطبیق داده‌های تجربی با معادله سینتیکی شبه مرتبه اول
- ۲۸۹..... ۱۱-۲۳-۲-۹ تطبیق داده‌های تجربی با معادله سینتیکی شبه مرتبه دوم
- ۲۹۱..... ۱۱-۲۳-۳-۹ تطبیق داده‌های تجربی با مدل سینتیکی الووچ
- ۲۹۳..... ۱۱-۲۳-۴-۹ تطبیق داده‌های تجربی با مدل سینتیکی نفوذ بین ذره‌ای
- ۲۹۴..... ۱۱-۲۳-۱۰-۲۳ مطالعه ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی

### فصل دوازدهم: فرآیند فوتوکاتالیستی ناهمگن..... ۳۰۱

- ۳۰۲..... ۱۲-۱-۱۲ مقدمه‌ای بر فرآیندهای اکسیداسیون شیمیایی
- ۳۰۳..... ۱۲-۲-۱۲ مروری بر تعاریف اکسایش - کاهش
- ۳۰۵..... ۱۲-۳-۱۲ انواع روش‌های اکسیداسیون شیمیایی
- ۳۱۱..... ۱۲-۳-۱-۱۲ اکسیداسیون آلاینده‌ها با استفاده از ترکیبات کلردار
- ۳۱۳..... ۱۲-۳-۲-۱۲ اکسیداسیون بوسیله پتاسیم پرمنگنات
- ۳۱۴..... ۱۲-۳-۳-۱۲ اکسیداسیون با استفاده از هیدروژن پراکسید
- ۳۱۷..... ۱۲-۳-۴-۱۲ اکسیداسیون بوسیله اوزون
- ۳۲۰..... ۱۲-۵-۱۲ اکسیداسیون پیشرفته
- ۳۲۴..... ۱۲-۵-۱-۱۲ پرتوهای فرابنفش
- ۳۲۵..... ۱۲-۵-۲-۱۲ محاسبه گپ انرژی فوتوکاتالیست ناهمگن با استفاده از طیف فوتولومینسانس
- ۳۲۸..... ۱۲-۵-۳-۱۲ مکلیم فرآیند فوتوکاتالیستی ناهمگن
- ۱۲-۵-۳-۱-۱۲ اصلاح سطح فوتوکاتالیست به روش داپد کردن اثر آن بر عملکرد فوتوکاتالیست ناهمگن
- ۳۳۳..... ۱۲-۵-۴-۱۲ بررسی پارامترهای مؤثر بر روی فرآیند فوتوکاتالیستی ناهمگن
- ۳۳۵..... ۱۲-۵-۱-۴-۱۲ شدت نور
- ۳۳۶..... ۱۲-۵-۲-۴-۱۲ مقدار دوز فوتوکاتالیست
- ۳۳۷..... ۱۲-۵-۳-۴-۱۲ غلظت آلاینده آلی
- ۳۳۷..... ۱۲-۵-۴-۴-۱۲ اثر pH

- ۳۴۰.....۵-۴-۱۲ یون‌های معدنی
- ۳۴۰.....۶-۴-۱۲ اثر دما
- ۳۴۱.....۷-۴-۱۲ اثر اکسیژن محلول
- ۳۴۳.....۶- فوتوراکتور
- ۳۴۸.....۷-۱۲ فرآیند ترکیبی فوتوکاتالیستی ناهمگن - غشایی
- ۳۵۱.....۸-۱۲ تعیین مرتبه و ثابت سرعت سینتیکی در فرآیند فوتوکاتالیستی ناهمگن
- ۳۵۱.....۱-۸-۱۲ شکل انتگرالی معادلات سرعت
- ۳۵۱.....۱-۱-۸-۱۲ واکنش مرتبه صفر
- ۳۵۲.....۲-۱-۸-۱۲ واکنش‌های مرتبه اول
- ۳۵۴.....۳-۱-۸-۱۲ واکنش‌های مرتبه دوم
- ۳۵۸.....۴-۱-۸-۱۲ واکنش‌های مرتبه سوم
- ۳۶۰.....۵-۱-۸-۱۲ واکنش‌های مرتبه n ام (رابطه کلی تعیین مرتبه واکنش):
- ۳۶۵.....۲-۸-۱۲ تعیین ثابت سرعت واکنش بر روی سطح فوتوکاتالیست
- ۳۶۸.....۹-۱۲ محاسبه انرژی فعال‌سازی و پارامترهای ترمودینامیکی در فرآیند فوتوکاتالیستی ناهمگن
- ۳۶۹.....۱۰-۱۲ مطالعه اقتصادی فرآیند فوتوکاتالیستی
- ۳۷۰.....۱۱-۱۲ بررسی جامع یک مثال کاربردی
- ۳۷۱.....۱-۱۱-۱۲ مطالعه رنگزا
- ۳۷۲.....۲-۱۱-۱۲ بررسی میزان جذب رنگزا توسط فوتوکاتالیست (محیط تاریک)
- ۳۷۲.....۳-۱۱-۱۲ بررسی پارامترهای موثر بر روی فرآیند فوتوکاتالیستی ناهمگن
- ۳۷۳.....۱-۱۱-۱۲ مطالعه پایداری نوری رنگزای BV۱۶
- ۳۷۵.....۱-۲-۱۱-۱۲ مطالعه ظرفیت جذب فوتوکاتالیست در حضور رنگزای BV۱۶ (محیط تاریک)
- ۳۷۶.....۱-۳-۱۱-۱۲ بررسی اثر دوز فوتوکاتالیست در فرآیند فوتوکاتالیستی
- ۳۷۶.....۲-۳-۱۱-۱۲ بررسی اثر هوادهی (افزایش اکسیژن محلول) و اثر آن بر روی فعالیت فوتوکاتالیستی
- ۳۸۴.....۳-۳-۱۱-۱۲ pH و اثر آن بر روی فعالیت فوتوکاتالیسی
- ۳۸۸.....۴-۳-۱۱-۱۲ بررسی اثر دما بر روی راندمان حذف رنگزای BV۱۶ در فرآیند فوتوکاتالیستی
- ۳۹۴.....۵-۳-۱۱-۱۲ بررسی اثر غلظت اولیه رنگزا بر روی راندمان و ثابت سرعت حذف رنگزای BV۱۶ در فرآیند فوتوکاتالیستی
- ۳۹۷.....۱۲-۱۲ مطالعه سینتیکی فرآیند فوتوکاتالیستی
- ۴۰۱.....۱۳-۱۲ مطالعه ترمودینامیکی فرآیند فوتوکاتالیستی
- ۴۰۲.....

---

---

|     |       |                                |
|-----|-------|--------------------------------|
| ۴۰۳ | ..... | ۱-۱۳-۱۲ محاسبه انرژی فعالسازی  |
| ۴۰۳ | ..... | ۲-۱۳-۱۲ محاسبه آنتروپی         |
| ۴۰۳ | ..... | ۳-۱۳-۱۲ محاسبه آنتالپی         |
| ۴۰۳ | ..... | ۴-۱۳-۱۲ محاسبه انرژی آزاد گیبس |
| ۴۰۴ | ..... | ۱۴-۱۲ مطالعه اقتصادی فرآیند    |
| ۴۰۵ | ..... | مراجع                          |

## پیش گفتار

به مصداق آیه‌ای از قرآن کریم که خداوند در آن فرموده‌اند "وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيًّا أَفَلَا يُؤْمِنُونَ" هر چیز زنده‌ای را از آب پدید آوردیم، حیات از آب آغاز شده است. این حیات تاکنون با آب ادامه یافته و به طور قطع بدون آن نیز به پایان خواهد رسید. از اهمیت آب برای انسان همین بس که در حدود هفتاد درصد از وزن بدن انسان را آب تشکیل داده است و کاهش آب بدن تا حد معینی می‌تواند سبب خطر مرگ و نابودی حیات برای انسان شود. تمام واکنش‌های زیستی در بدن انسان و دیگر موجودات زنده جانوری و گیاهی همچون فوتوسنتز در محیط آبی انجام می‌شود. بر همین مبنا و هزاران دلیل دیگر حفاظت از آب به عنوان ماده‌ای حیاتی و ارزشمند بسیار اهمیت دارد. از این‌رو مطالعه، شناسایی و تحقیق بر روی عوامل آلوده کننده آب در جهت شناسایی آن‌ها و متعاقباً اندیشیدن درباره مقابله و رفع آن‌ها بخصوص در دوره کنونی جهان که معطل کم آبی به یک چالش مبدل شده است امری ضروری و حیاتی می‌باشد.

بررسی تعداد مقالات علمی که هر ساله در مجلات داخلی و خارجی از سوی دانشمندان، محققین و دانشجویان کشور به چاپ رسیده، حاکی از آن است که در حال حاضر توجهات ویژه و بسیار زیادی به سمت حذف، تخریب و جداسازی آلاینده‌های آلی محلول در آب، بخصوص رنگزاهای مورد استفاده در صنایع نساجی و چرم به جهت سمیت فوق‌العاده بالای آن‌ها از سوی گرایش‌های دانشگاهی مختلف بخصوص شیمی، مهندسی شیمی و مهندسی محیط‌زیست معطوف شده است. اما در عین حال راهنمای جامع و کاربردی که در این حوزه بتواند برطرف کننده نیازهای دانشجویان در مراحل گوناگون تحقیقاتشان در هر یک از بخش‌های مذکور باشد وجود نداشت.

به جهت اینکه مطالعه و پژوهش در این حوزه نیازمند درک مفاهیم پایه‌ای شیمیایی است و ممکن است که برخی از علاقمندان به تحقیقات در این بخش در درک برخی از این مفاهیم پایه‌ای دچار اشکالاتی باشند و یا با چگونگی کار در آزمایشگاه شیمی آشنایی کافی نداشته باشند، در طول تحقیقات خود با مشکلات و سردرگمی‌های گوناگونی مواجه می‌شوند که برطرف نمودن آن‌ها می‌تواند زمان بسیار زیادی را از آن‌ها سلب و روند تحقیقات ایشان را آهسته و کند نماید. از طرف دیگر بدلیل عدم آشنایی کافی شخص محقق با عوامل موثر بر

روی فرآیند و متعاقباً بروز برخی از خطاهای ناخواسته از سوی وی، روند آزمایشات آنچنان که مورد انتظار است پیش نمی‌رود و تکرار آزمایش‌ها علاوه بر اتلاف وقت، باعث افزایش هزینه‌های تحقیقات نیز می‌شود. در همین راستا و برای برطرف شدن خلأ موجود که از سوی نویسندگان کتاب پیش‌رو احساس شد، مجموعه حاضر به رشته تحریر درآمده است.

در این کتاب سعی شده است تا بر اساس تجربیات چندین ساله مولفین در حوزه‌های جذب سطحی و فوتوکاتالیستی ناهمگن، مباحث تئوری مهم، روابط ریاضی کاربردی و مورد نیاز محققین و دانشجویان در مراحل مختلف تحقیقات و به طور عملی، برای هر یک از بخش‌های مذکور به زبانی ساده و روان همراه با توضیحات کامل که ابعاد مختلف مسئله را در برمی‌گیرد بیان گردد.

برای هر یک از فرآیندهای جذب سطحی و فوتوکاتالیستی ناهمگن مثال‌های کاملی با استفاده از داده‌های تجربی واقعی بدست آمده در آزمایشگاه تحقیقاتی آب و پساب مورد بررسی قرار گرفته است که بر مبنای آن روش کاری عمومی محقق نیز مشخص شده است. به محققین و دانشجویان گرامی پیشنهاد می‌شود پیش از شروع تحقیقات عملی در فرآیندهای جذب سطحی و فوتوکاتالیستی ناهمگن آلاینده‌های آلی و بویژه رنگ‌زها، این کتاب را با دقت مطالعه نموده تا چشم انداز مناسبی در راستای تحقیقات در این بخش بدست آید. امید که با این عمل توانسته باشیم گامی رو به جلو در جهت تحقق یافتن فرمایشات گرانبهای مقام معظم رهبری (مد ظله العالی) که در بیانیه گام دوم انقلاب خطاب به جوانان در راستای جبران عقب افتادگی‌های علمی کشور فرمودند، برداشته باشیم. به امید موفقیت برای تمامی جویندگان علم در کشور عزیزمان در راستای سربلندی بیش از پیش جمهوری اسلامی ایران.

در خاتمه به رسم ادب و احترام وظیفه خود می‌دانیم که از جناب محمد کاظم محمودی ریاست محترم مرکز انتشارات آثار نفیس و سایر همکاران این مرکز برای چاپ این کتاب تشکر و سپاسگزاری نماییم.

همچنین در خاتمه از صاحب نظران، محققین و دانشجویان گرامی تقاضا دارم که نقطه نظرات ارزنده خود را در جهت تکمیل چاپ بعدی این کتاب از طریق پست الکترونیک [adsorption\\_photocatalyst@yahoo.com](mailto:adsorption_photocatalyst@yahoo.com) به اطلاع مولفین برسانند.

با آرزوی توفیق الهی

عباس رجبی ابهری

زهره محمودی