

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جمع آوری و پالایش آلاینده های هوا  
(ذرات)

امیر حسین متین  
مجید بیاتیان



نشر فن آوران

۱۳۸۹



نشر فن آوران

## جمع آوری و پالایش آلاینده های هوا (ذرات)

مؤلفین: امیر حسین متین

مجید بیاتیان

نوبت چاپ: اول: ۱۳۸۹

لیتوگرافی: خوشبین

چاپ و صحافی: پژواک

شمارگان: ۱۵۰۰

شابک: ۷-۳۷-۲۸۹۳-۲۸۶۴-۹۷۸

قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان

انتشارات فن آوران: تهران، خیابان انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، پاساژ فروزنده، شماره ۱۱۸

تلفن: ۶۶۹۵۳۹۹۸ تلفکس: ۶۶۹۷۵۱۸۲

Email: [fanavaran2008ir@yahoo.com](mailto:fanavaran2008ir@yahoo.com)

|                     |                                                                                |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | متین، امیر حسین                                                                |
| عنوان و نام پدیدآور | جمع آوری و پالایش آلاینده های هوا (ذرات) / تألیف: امیر حسین متین، مجید بیاتیان |
| مشخصات نشر          | تهران: فن آوران، ۱۳۸۹.                                                         |
| مشخصات ظاهری        | ۵۰۴ص: مصور، جدول، نمودار.                                                      |
| شابک:               | 7-37-2983-964-978                                                              |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیبا                                                                           |
| یادداشت             | واژه نامه.                                                                     |
| یادداشت             | کتابنامه.                                                                      |
| موضوع               | آلاینده ها                                                                     |
| موضوع               | هوا - تصفیه                                                                    |
| موضوع               | هوا - تصفیه - ابزار و وسایل                                                    |
| شناسه افزوده        | بیاتیان، مجید، ۱۳۶۱ -                                                          |
| رده بندی کنگره      | ۱۳۸۹ م ۱/۱۱ QH۵۴۵                                                              |
| رده بندی دیویی      | ۵۷۷/۲۷                                                                         |
| شماره کتابشناسی ملی | ۲۱۱۴۵۱۶                                                                        |

## پیشگفتار

آلودگی هوا عبارت است از حضور مواد نامطلوب در هوا به مقداری که بتواند اثرات مضر برای انسان و دیگر موجودات زنده ایجاد نماید. برای کنترل آلودگی هوا قوانین و مقررات مختلفی از سوی سازمانهای ذیربط برای صنایع الزام گردیده است که از آن جمله می توان اجبار صنایع برای کنترل آلاینده های خروجی از دودکش منابع آلودگی را نام برد. از طرف دیگر غبارگیری و تصفیه آلاینده های هوا در امر بازیابی مواد خام و با ارزش که می تواند در تولید فلزات غیر آهنی و کمیاب مورد استفاده قرار گیرد نیز نقش عمده ای دارد.

کتاب حاضر مشتمل بر ۸ فصل می باشد که در چهار فصل نخست آن به ترتیب مبانی آلودگی هوا، خواص سیالات، خصوصیات سیالات و ذرات، تهویه صنعتی شرح داده شده است. در چهار فصل دیگر تجهیزات پالایش ذرات شامل غبارگیری به روش تر، رسوب دهنده های الکترواستاتیک، فیلتراسیون، پالایشگرهای گریز از مرکز شرح داده شده است بطوریکه خواننده بتواند در انتها هر کدام از تجهیزات را طراحی نماید. مطالعه این کتاب به دانشجویان، اساتید و متخصصان رشته های آلودگی هوا، مکانیک، بهداشت حرفه ای، بهداشت محیط، تأسیسات و ... پیشنهاد می گردد. در پایان از خوانندگان محترم تقاضا می شود که در صورت مشاهده هرگونه کاستی و اشکال پیشنهادات خود را به دفتر انتشارت و یا پست الکترونیکی زیر ارسال نمایند.

MAJID\_BAYATIAN@YAHOO.COM

## با تشکر

امیر حسین متین - عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی  
مجید بیاتیان - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران

## فهرست مطالب

### عنوان

### صفحه

#### فصل اول: مبانی آلودگی هوا

|    |                            |
|----|----------------------------|
| ۱۵ | مقدمه                      |
| ۲۱ | هواگذر                     |
| ۲۳ | رطوبت نسبی                 |
| ۲۵ | فشار هوا                   |
| ۲۶ | محاسبات جریان گاز          |
| ۳۱ | بار ذرات                   |
| ۳۱ | ظرفیت گرمایی               |
| ۳۲ | تهویه ترقیقی               |
| ۳۳ | پیدایش آلودگی در یک محدوده |

#### فصل دوم: خواص سیالات

|    |                 |
|----|-----------------|
| ۳۹ | مقدمه           |
| ۳۹ | سیال            |
| ۴۱ | طبقه‌بندی جریان |
| ۴۴ | خصوصیات سیال    |
| ۴۹ | ثابت‌های آب     |
| ۵۰ | ثابت گازها      |

|    |                                             |
|----|---------------------------------------------|
| ۵۰ | ..... خصوصیات هوا و بخار آب                 |
| ۵۲ | ..... جریان مایع                            |
| ۵۲ | ..... معادله انرژی                          |
| ۵۳ | ..... جریان لزج                             |
| ۵۵ | ..... جریان لامینار و توربولانس             |
| ۵۷ | ..... زبری سطحی                             |
| ۵۹ | ..... انواع مقاومت در کانال                 |
| ۶۲ | ..... افت فشار در لوله‌های گاز و بخار       |
| ۶۸ | ..... رطوبت هوا، چارت Mollier و کاربرد آنها |
| ۷۳ | ..... فشار بخار آب                          |
| ۷۷ | ..... فشار بخار آب و یخ و محاسبه رطوبت هوا  |
| ۸۰ | ..... ساختار دیاگرام Mollier                |
| ۸۳ | ..... رطوبت هوا                             |

### فصل سوم: خصوصیات سیالات و ذرات

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| ۱۰۷ | ..... مقدمه                              |
| ۱۰۷ | ..... عدد رینولدز سیالات و ذرات          |
| ۱۱۳ | ..... قانون مقاومت نیوتن                 |
| ۱۱۶ | ..... قانون استوکس                       |
| ۱۲۰ | ..... فاکتور تصحیح slip                  |
| ۱۲۴ | ..... سرعت ته‌نشینی و حرکت‌پذیری مکانیکی |
| ۱۲۸ | ..... ذرات غیرکروی و فاکتور شکل دینامیکی |
| ۱۳۰ | ..... قطر آئرو دینامیکی                  |
| ۱۳۴ | ..... زمان استراحت                       |
| ۱۳۷ | ..... فاصله توقف                         |
| ۱۴۰ | ..... توزیع آماری اندازه ذرات            |
| ۱۴۰ | ..... توزیع عددی                         |
| ۱۴۶ | ..... توزیع جرم                          |
| ۱۵۱ | ..... توزیعات و میانگین‌های مهم دیگر     |
| ۱۵۳ | ..... Lognormal                          |
| ۱۵۸ | ..... توزیعات آماری دیگر                 |

## فصل چهارم: تهویه صنعتی

|     |       |                                           |
|-----|-------|-------------------------------------------|
| ۱۶۵ | ..... | مقدمه                                     |
| ۱۶۶ | ..... | تهویه موضعی                               |
| ۱۶۷ | ..... | تعاریف                                    |
| ۱۶۸ | ..... | هود                                       |
| ۱۷۵ | ..... | کانال                                     |
| ۱۷۹ | ..... | رابطه برنولی                              |
| ۱۸۱ | ..... | هد و فشار                                 |
| ۱۸۲ | ..... | فشار استاتیک                              |
| ۱۸۲ | ..... | فشار سرعت                                 |
| ۱۸۲ | ..... | فشار کل                                   |
| ۱۸۳ | ..... | اندازه‌گیری فشار                          |
| ۱۸۳ | ..... | تجزیه و تحلیل سیستم                       |
| ۱۹۰ | ..... | تغییرات فشار در سیستم                     |
| ۱۹۲ | ..... | مقاومت سیال                               |
| ۱۹۲ | ..... | افت‌های ناشی از اصطکاک                    |
| ۱۹۵ | ..... | فاکتور زبری                               |
| ۱۹۶ | ..... | چارت اصطکاک                               |
| ۱۹۸ | ..... | کانال‌های چهارگوش                         |
| ۱۹۸ | ..... | کانال‌های بیضوی                           |
| ۲۰۰ | ..... | افت‌های دینامیکی                          |
| ۲۰۱ | ..... | ضرایب افت موضعی                           |
| ۲۰۳ | ..... | اندازه‌گیری افت فشار در کانال             |
| ۲۰۴ | ..... | کاهنده و افزایشنده در کانال               |
| ۲۰۵ | ..... | اصول طراحی کانال در سیستم‌های HVAC        |
| ۲۱۰ | ..... | اصول طراحی کانال در سیستم‌های تهویه صنعتی |
| ۲۱۶ | ..... | باران‌گیر                                 |
| ۲۱۷ | ..... | وسایل پالایش هوا                          |
| ۲۲۰ | ..... | روش‌های استاندارد محاسبه تهویه صنعتی      |
| ۲۲۱ | ..... | هواکش                                     |

## فصل پنجم: غبارگیری به روش تر

|     |                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| ۲۲۹ | ..... مقدمه                                                             |
| ۲۲۹ | ..... روش‌های غبارگیری (براساس روش مرطوب نمودن)                         |
| ۲۳۰ | ..... اسکرابرها                                                         |
| ۲۳۱ | ..... تقسیم‌بندی اسکرابرها براساس مصرف انرژی                            |
| ۲۳۷ | ..... انواع اسکرابرهای تر برحسب دامنه افت فشار و نسبت مایع به گاز (L/G) |
| ۲۳۷ | ..... عوامل موثر در طراحی اسکرابر                                       |
| ۲۳۸ | ..... مکانیسم جمع‌آوری ذرات توسط اسکرابرهای تر                          |
| ۲۴۴ | ..... اسکرابرهای مه‌پاش                                                 |
| ۲۵۱ | ..... تعیین افت در برج‌های آبپاش                                        |
| ۲۵۱ | ..... ملاحظات طراحی                                                     |
| ۲۵۱ | ..... حذف کننده میست                                                    |
| ۲۵۳ | ..... اسکرابر ونتوری                                                    |
| ۲۵۵ | ..... سیستم ذخیره و انتقال مایع                                         |
| ۲۵۶ | ..... سیستم تزریق مایع                                                  |
| ۲۵۷ | ..... گلوگاه ونتوری                                                     |
| ۲۵۹ | ..... محفظه جمع‌آوری و حذف کننده میست                                   |
| ۲۶۰ | ..... جمع‌آوری و تصفیه مایع                                             |
| ۲۶۱ | ..... تجهیزات تکمیلی                                                    |
| ۲۶۲ | ..... پارامترهای طراحی                                                  |
| ۲۶۲ | ..... نسبت گاز به مایع                                                  |
| ۲۶۳ | ..... سرعت و افت فشار                                                   |
| ۲۶۳ | ..... بار و توزیع بار ذرات                                              |
| ۲۶۴ | ..... سرعت جریان، درجه حرارت و رطوبت آلاینده گازی                       |
| ۲۶۵ | ..... زمان ماند                                                         |
| ۲۶۵ | ..... سایز قطرات                                                        |
| ۲۶۷ | ..... طراحی اسکرابر ونتوری                                              |
| ۲۶۹ | ..... توزیع و بار ذرات                                                  |
| ۲۶۹ | ..... راندمان جمع‌آوری                                                  |
| ۲۷۱ | ..... فشار قطرات                                                        |
| ۲۷۳ | ..... روش قطر حد کالورت                                                 |

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| ۲۷۳ | سرعت در اسکرابر و مساحت قسمت میانی..... |
| ۲۷۴ | آب مصرفی.....                           |
| ۲۷۵ | نرخ تخلیه.....                          |
| ۲۷۵ | توان الکتریکی مصرفی.....                |
| ۲۷۶ | کنترل گازها و بخارات.....               |
| ۲۷۶ | روش جذب در مایع.....                    |
| ۲۷۷ | سیستم‌های اسکرابر تر.....               |
| ۲۸۰ | طراحی اسکرابرهای آکنده.....             |
| ۲۸۱ | ابعاد برج آکنده.....                    |
| ۲۸۷ | نگهداری از برج آکنده.....               |
| ۲۸۸ | طراحی سیستم اسپری آب.....               |
| ۲۸۸ | اندازه قطره.....                        |
| ۲۹۱ | میزان فلوی آب و فلوی هوای تحت فشار..... |
| ۲۹۱ | طراحی لوله‌کشی.....                     |
| ۲۹۲ | انتخاب پمپ و کمپرسور.....               |
| ۲۹۲ | اسکرابرهای خشک.....                     |
| ۲۹۳ | سیستم‌های خشک- خشک.....                 |
| ۲۹۴ | سیستم‌های نیمه خشک.....                 |
| ۲۹۴ | سیستم‌های جاذب اسپری خشک.....           |

### فصل ششم: رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک

|     |                                                    |
|-----|----------------------------------------------------|
| ۲۹۹ | مقدمه.....                                         |
| ۳۰۰ | نیروی الکترواستاتیک و شدت میدان.....               |
| ۳۰۵ | سرعت نهایی در میدان الکتریکی.....                  |
| ۳۰۵ | سرعت نهایی در ناحیه استوکس ( $Re_p \leq 1$ ).....  |
| ۳۰۵ | سهولت حرکت الکتریکی.....                           |
| ۳۰۶ | سرعت نهایی در ناحیه غیر استوکس ( $Re_p > 1$ )..... |
| ۳۱۰ | مزایا و معایب ESPها.....                           |
| ۳۱۱ | خصوصیات میدان الکتریکی.....                        |
| ۳۱۵ | بار ذره.....                                       |
| ۳۱۶ | شارژ میدانی.....                                   |
| ۳۲۳ | اصلاح و تغییر ذرات دی الکتریک.....                 |

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۳۲۳ | ذرات غیر کروی.....                                      |
| ۳۲۴ | فرایند باردار نمودن انتشاری.....                        |
| ۳۲۸ | بار کل ذرات.....                                        |
| ۳۳۰ | حد بار.....                                             |
| ۳۳۱ | تخلیه کرونا.....                                        |
| ۳۳۳ | کرونا ی مثبت.....                                       |
| ۳۳۳ | کرونا ی منفی.....                                       |
| ۳۳۳ | تقسیم‌بندی رسوب‌دهنده‌های الکتروستاتیکی.....            |
| ۳۳۴ | جمع‌آوری ذرات در جریان لامینار.....                     |
| ۳۳۸ | جمع‌آوری ذرات در جریان اختلاط کامل (با تلاطم زیاد)..... |
| ۳۴۲ | مدل جریان لامینار در ESP های صفحه‌ای.....               |
| ۳۴۶ | مدل جریان اختلاط کامل.....                              |
| ۳۵۲ | جمع‌آوری ذرات.....                                      |
| ۳۵۲ | سرعت مهاجرت ذره.....                                    |
| ۳۵۵ | راندمان جمع‌آوری ذره.....                               |
| ۳۵۸ | ذرات دوباره به جریان برگشته.....                        |
| ۳۵۹ | متدولوژی و ملاحظات طراحی.....                           |
| ۳۶۲ | اندازه رسوب‌دهنده.....                                  |
| ۳۶۴ | مقاومت ویژه ذره.....                                    |
| ۳۶۸ | شکل درونی.....                                          |
| ۳۷۰ | سیستم‌های الکتروود.....                                 |
| ۳۷۰ | تجهیزات برقی.....                                       |

### فصل هفتم: فیلتراسیون

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| ۳۷۷ | مقدمه.....              |
| ۳۷۷ | فیلترها.....            |
| ۳۸۳ | مکانیسم فیلتراسیون..... |
| ۳۸۴ | برخورد مماسی.....       |
| ۳۸۵ | برخورد مستقیم.....      |
| ۳۸۶ | انتشار.....             |
| ۳۸۷ | ته‌نشینی ثقلی.....      |
| ۳۸۸ | ربایش الکتروستاتیک..... |

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| ۳۸۹ | راندمان جمع‌آوری کلی فیلتر        |
| ۳۹۰ | راندمان فیلتر                     |
| ۳۹۵ | معیار عملکرد فیلتر                |
| ۳۹۵ | افت فشار                          |
| ۴۰۱ | کشش فیلتر                         |
| ۴۰۲ | پاکسازی هوا                       |
| ۴۰۶ | جمع‌آوری ذرات                     |
| ۴۰۷ | روش‌های استاندارد تست فیلتر       |
| ۴۰۸ | تست‌های راندمان فیلتر             |
| ۴۱۰ | آزمایشات ظرفیت نگهداری گرد و غبار |
| ۴۱۱ | تجهیزات اتاق تمیز                 |
| ۴۱۳ | ملاحظات طراحی                     |
| ۴۱۴ | نسبت هواگذر به پارچه              |

### فصل هشتم: پالایشگرهای گریز از مرکز

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۴۲۱ | مقدمه                                      |
| ۴۲۵ | تجزیه و تحلیل تئوریکالی سیکلون             |
| ۴۲۵ | مدل جریان سیال                             |
| ۴۲۵ | هواگذر در سطح $(r, \theta)$                |
| ۴۲۷ | سرعت چرخش                                  |
| ۴۲۸ | مدل جمع‌آوری ذرات                          |
| ۴۳۰ | شبیه‌سازی عددی جریان سیال و ذرات در سیکلون |
| ۴۳۰ | شبیه‌سازی جریان سیال                       |
| ۴۳۱ | شبیه‌سازی حرکت سیال                        |
| ۴۳۱ | بار ذرات                                   |
| ۴۳۲ | انواع سیکلون‌ها                            |
| ۴۳۲ | سیکلون‌های Return-Flow                     |
| ۴۳۵ | طرز کار سیکلون                             |
| ۴۳۸ | ساختمان سیکلون                             |
| ۴۴۱ | راندمان سیکلون                             |
| ۴۴۴ | راندمان جمع‌آوری کلی سیکلون                |
| ۴۴۵ | مدل Barth                                  |

- ۴۴۶ ..... مدل Licht و Leith
- ۴۴۹ ..... مدل Leith و Iozia
- ۴۵۰ ..... افت فشار در سیکلون
- ۴۵۳ ..... اتصال سری سیکلون‌ها
- ۴۵۴ ..... راندمان کل
- ۴۵۴ ..... عوامل موثر در کار کرد سیکلون
- ۴۵۵ ..... اطلاعات مورد نیاز برای طراحی و انتخاب سیکلون
- ۴۵۵ ..... اثر هواگذر بر افت فشار
- ۴۵۷ ..... مدل Barth
- ۴۵۹ ..... مدل Licht و Leith
- ۴۶۲ ..... مدل Leith و Iozia
- ۴۶۴ ..... دانسیته گاز
- ۴۶۵ ..... بار غبار
- ۴۶۵ ..... قطر بدنه
- ۴۶۶ ..... شکل مخروط سیکلون
- ۴۶۷ ..... افت فشار و توان مصرفی
- ۴۷۱ ..... سیکلون‌های UNIFLOW
- ۴۷۲ ..... راندمان جداسازی ذرات در جریان لامینار
- ۴۷۸ ..... راندمان جمع‌آوری در جریان اختلاط کامل
- ۴۸۲ ..... افت فشار در سیکلون uniflow
- ۴۸۵ ..... کاربرد سیکلون در نمونه برداری از هوا
- ۴۸۵ ..... الگوی ویژه در اتمسفر
- ۴۸۹ ..... پیوست: ضرایب افت اتصالات
- ۴۹۵ ..... واژه نامه
- ۵۰۱ ..... منابع