

مطالعه مطالب در کانال صنعت تهویه و تاسیسات  
<https://telegram.me/hvacmag>

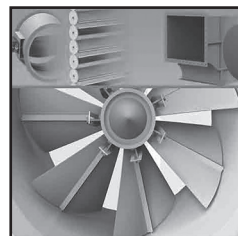
ماهنامه فنی و مهندسی

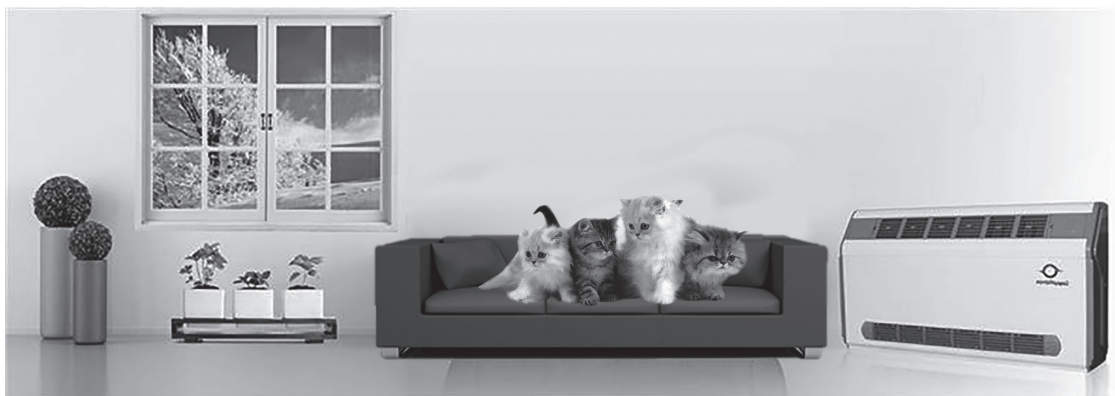


## تهویه مطبوع صنعتی

قسمت اول

ترجمه و تنظیم: یاشار سید مرتضایی





## ۱- مقدمه

مقاله مذکور به بررسی سامانه‌های تهویه مطبوع صنعتی، نظیر کارخانه‌های تولیدی، آزمایشگاه‌ها، تاسیسات فرایندی و نیروگاه‌ها می‌پردازد. سامانه‌های HVAC، محیط فرایند مناسبی (شامل دما، رطوبت، جابه‌جایی هوا، کیفیت هوا، سر و صدا و پاکیزگی هوا) را برای تسهیل فرایندهای صنعتی و تامین سلامتی، ایمنی و آسایش کارکنان فراهم می‌سازند. بسیاری از ساختمان‌های صنعتی نیازمند مقادیر بالایی از انرژی، برای فرایندهای تولیدی و همچنین برای حفظ شرایط محیطی مناسب ساختمان می‌باشند. مقاله پیش رو، رهنمودهای مناسبی را در خصوص طراحی صحیح ساختمان و سامانه و به قصد صرفه‌جویی انرژی از طریق عایق‌کاری، تهویه و بازیابی گرمایی، ارائه می‌کند.



## ۲- الزامات کلی

دماهای متداول، رطوبت‌های نسبی و الزامات فیلتراسیون ویژه هوای فرایندهای ذخیره، تولید، و فرآوری کالاهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است و الزامات هر کاربرد ویژه‌ای می‌تواند با الزامات مندرج در جدول مذکور متفاوت باشد.

جدول ۱: الزامات طراحی تهویه مطبوع صنعتی<sup>۱</sup>

| فرایند               | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|----------------------|-------------------|---------------|
| سمباده (مواد ساینده) |                   |               |
| تولید                | ۲۶                | ۵۰            |
| سرامیک               |                   |               |
| گل نسوز              | ۴۳ تا ۶۶          | ۵۰ تا ۹۰      |
| اتاق قالب‌گیری       | ۲۷                | ۶۰ تا ۷۰      |
| انبار خاک‌رسی        | ۱۶ تا ۲۷          | ۳۵ تا ۶۵      |
| تولید طرح            | ۲۴ تا ۲۷          | ۴۸            |
| اتاق تزئین           | ۲۴ تا ۲۷          | ۴۸            |

در اتاق تزئین، از فیلترهای هوای پربازده‌ای با مقیاس VREM<sup>۱</sup> برابر ۱۳ و یا بهتر استفاده کنید.

برای کمینه‌سازی خطر بیماری‌های ریوی ناشی از استنشاق ذرات سیلیسی در مناطق دیگر، از سامانه جمع‌آوری- خاک یا فیلتراسیون مواد ذره‌ای بازده متوسط استفاده کنید.

| فرایند                   | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|--------------------------|-------------------|---------------|
| تقطیر                    |                   |               |
| تولید عمومی              | ۱۶ تا ۲۴          | ۴۵ تا ۶۰      |
| ذخیره و افزایش عمر محصول | ۱۸ تا ۲۲          | ۵۰ تا ۶۰      |

کنترل خاک و غبار و رطوبت پایین، درجایی که دانه‌ها و حبوبات مورد نظر در تماس با سطح کف قرار می‌گیرند، بسیار با اهمیت می‌باشد.

برای جلوگیری از رشد هاگ‌های انگلی و باکتری‌ها، برای تمامی نواحی از فیلتراسیون پربازده استفاده کنید.

1- Minimum efficiency reporting value (MERV)

از فیلتراسیون فوق پربازده نیز در محل اجرای پاستوریزاسیون سریع و کلی استفاده نمایید.

| فرایند                                         | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|------------------------------------------------|-------------------|---------------|
| <b>محصولات الکتریکی</b>                        |                   |               |
| <b>قطعات الکترونیکی و اشعه X</b>               |                   |               |
| سیم پیچی کویل و ترانسفورماتور                  | ۲۲                | ۱۵            |
| صنعت نیمه هادی                                 | ۲۱                | ۴۵            |
| <b>ابزار آلات دقیق الکتریکی</b>                |                   |               |
| محل تولید، و آزمایشگاه                         | ۲۱                | ۵۰ تا ۵۵      |
| مونتاژ و کالیبراسیون ترموستات                  | ۲۴                | ۵۰ تا ۵۵      |
| مونتاژ و کالیبراسیون رطوبت سنج                 | ۲۴                | ۵۰ تا ۵۵      |
| <b>دستگاه های کوچک</b>                         |                   |               |
| دستگاه های ترانس پایین                         | ۲۲*               | ۴۰ تا ۴۵      |
| مونتاژ و آزمایش کنترل                          | ۲۴                | ۶۰ تا ۶۳      |
| <b>اجزاء تنظیمی و کلیدی تجهیزات الکترونیکی</b> |                   |               |
| مونتاژ فیوز و کلید خودکار                      | ۲۳                | ۵۰            |
| سیم پیچی خازن                                  | ۲۳                | ۵۰            |
| انبار کاغذ                                     | ۲۳                | ۵۰            |
| الیاف بندی رشته سیم ها                         | ۲۴                | ۶۵ تا ۷۰      |
| مونتاژ برق گیر                                 | ۲۰                | ۲۰ تا ۴۰      |
| مونتاژ و آزمایش مدار شکن های حرارتی            | ۲۴                | ۳۰ تا ۶۰      |
| تعمیر ترانسفورماتور های ولتاژ بالا             | ۲۶                | ۵             |
| <b>ژنراتور های توربین آبی</b>                  |                   |               |
| آب بندی گردنده محرکه                           | ۲۱                | ۳۰ تا ۵۰      |
| <b>یکسو کننده ها</b>                           |                   |               |
| پردازش صفحات اکسید مس و سلیسیم                 | ۲۳                | ۳۰ تا ۴۰      |

\* دما باید ثابت نگاه داشته شود.

کنترل خاک و گرد و غبار در فرایندهای مذکور الزامی است. برای کنترل کمینه، استفاده از فیلترهای بازده- متوسطی با MERV ۱۱ و یا بهتر، ضروری است.

درجه فیلتراسیون، به نوع کاربری فضای مذکور بستگی دارد. ترانس های کوچک تر و اجزاء کوچک، استفاده از فیلترهای هوای ذره ای پربازده (HEPA) را ایجاب می کنند.

| فرایند                     | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|----------------------------|-------------------|---------------|
| <b>پوشش کف</b>             |                   |               |
| <b>لینولئوم (شمع کف)</b>   |                   |               |
| اکسایش مکانیکی روغن بزرگ * | ۳۲ تا ۳۸          |               |
| چاپ                        | ۲۷                |               |
| فرایند پخت                 | ۷۰ تا ۱۲۰         |               |

\* لزوم کنترل دمای دقیق.

فیلتراسیون هوای ذره‌ای بازده متوسط برای فرایند پخت توصیه می‌شود.

| فرایند              | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|---------------------|-------------------|---------------|
| <b>ریخته‌گری *</b>  |                   |               |
| ساخت قطعات قالب     | ۱۶ تا ۲۱          |               |
| <b>قالب‌ریزی</b>    |                   |               |
| میز قالب‌گیری       | ۱۶ تا ۲۱          |               |
| قالب‌گیری بر روی کف | ۱۳ تا ۱۸          |               |
| ریختن مواد مذاب     | ۴                 |               |
| خروج از قالب        | ۴ تا ۱۰           |               |
| اتاق تمیزکاری       | ۱۳ تا ۱۸          |               |

\* دماهای رختکن زمستانی. در برخی از موارد از کولرهای موضعی در تاسیسات بزرگ‌تر استفاده می‌شود.

در فرایند قالب‌گیری و در نقاط انتقالی، هودهای تخلیه‌ای را با سامانه دفع خاک و غبار کلکتور مرطوب در نظر بگیرید. از نرخ تخلیه L/S ۲۸۰ تا L/S ۳۸۰ به‌ازاء هر هود، با سرعت تخلیه هدف تقریبی ۲/۵ m/s استفاده کنید.

در اتاق بازگشایی قالب، از هودهای تخلیه‌ای، با سامانه دفع خاک و غبار کلکتور مرطوب استفاده کنید. از نرخ تخلیه سطح‌هودی L/S ۱۹۰ تا L/S ۲۴۰ استفاده کنید. ونتیلاتورهای اتاقی عموماً مؤثر نمی‌باشند.

در اتاق تمیزکاری، برای دستگاه‌های سنگ‌سمباده (تراش) و تجهیزات تمیزکننده، از هودهای تخلیه‌ای، به همراه سیکلون‌های خشک و یا کلکتورهای نوع-کیسه‌ای استفاده کنید. در ساخت قطعات قالب، کوره و مناطق سرمایشی مجاور نیازمند هودهای تخلیه بخار و گازها هستند. اتاق‌های ریزش مواد مذاب نیازمند ونتیلاتورهای پشت‌بامی دوسرعه می‌باشند. در سرعت پایین، طراحی مذکور را بر مبنای مقدار کمینه L/S ۱۰ انجام دهید. استفاده از پوشش‌های محافظ برای کنترل تابش گرمایشی از سطوح

داغ، الزامی است. ورود صحیح هوا موجب کمینه سازی الزامات پیش گرمایشی می شود.

| فرایند          |  | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|-----------------|--|-------------------|---------------|
| خز (پوستین)     |  |                   |               |
| خشک سازی        |  | ۴۳                |               |
| پاک سازی تکانشی |  | -۸ تا -۷          |               |
| ذخیره (انبار)   |  | ۱۰ تا ۴           | ۵۵ تا ۶۵      |

پاک سازی تکانشی یا ریشه کنی هجوم تمامی حشرات، مستلزم دمای پایینی در حدود °C ۸- تا °C ۷- برای ۳ تا ۴ روز و سپس افزایش دما تا مقدار حدود °C ۱۶ تا °C ۲۱ برای ۲ روز و سپس کاهش مجدد دما برای ۲ روز و سپس افزایش دما، تا دمای انبار می باشد.

برای حفظ قابلیت انعطاف، کاهش اکسیداسیون و ابقاء رنگ و درخشندگی خرها، آن ها را در دماهای ۴ تا °C ۱۰، انبار می کنند.

برای جلوگیری از رشد قارچ ها (که در رطوبت های بالای ۸۰ درصدی بسیار شایع است) و ریش ریش شدگی موه های خز (که در رطوبت های پایین تر از ۵۵ درصدی متداول می باشد)، کنترل رطوبت الزامی است.

| فرایند                   |  | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|--------------------------|--|-------------------|---------------|
| آدامس                    |  |                   |               |
| تولید                    |  | ۲۵                | ۳۳            |
| نورد                     |  | ۲۰                | ۶۳            |
| نواربری                  |  | ۲۲                | ۵۳            |
| برش قطعه ای              |  | ۲۳                | ۴۷            |
| بسته بندی                |  | ۲۳                | ۵۸            |
| چرم                      |  |                   |               |
| خشک سازی                 |  | ۲۰ تا ۵۲          | ۷۵            |
| ذخیره، دمای اتاق زمستانی |  | ۱۰ تا ۱۶          | ۴۰ تا ۶۰      |

بعد از مرطوب سازی چرم، برای فرایند نورد و شکل پذیری کششی، چرم را در دمای اتاق و رطوبت نسبی ۹۵ درصدی قرار

می‌دهند. معمولاً چرم را در انبارهای بدون کنترل دما و رطوبت نگهداری می‌کنند.

با این وجود، برای جلوگیری از رشد کپک‌ها، رطوبت محل نگهداری چرم را باید تا حد کافی در مقدار پایینی حفظ نمود. برای پرداخت سطحی لطیف چرم‌ها، فیلتراسیون هوای ذره‌ای بازده متوسط توصیه می‌گردد.

| فرایند                 | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|------------------------|-------------------|---------------|
| لنزهای (عدسی‌های) چشمی |                   |               |
| ذوب                    | ۲۴                | ۴۵            |
| تراش                   | ۲۷                | ۸۰            |
| کبریت                  |                   |               |
| تولید                  | ۲۲ تا ۲۳          | ۵۰            |
| خشک‌سازی               | ۲۱ تا ۲۴          | ۶۰            |
| انبار                  | ۱۶ تا ۱۷          | ۵۰            |

آب تبخیر می‌شود و چسب مایع بر روی نوک کبریت‌ها باقی می‌ماند. مقدار آب تبخیرشده در حدود ۸ تا ۹ کیلوگرم بر میلیون کبریت است.

برای تعیین بار رطوبت واقعی موجود در فضا، آگاهی از نرخ تولید واقعی کبریت، الزامی است.

| فرایند                          | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|---------------------------------|-------------------|---------------|
| رنگ‌کاری                        |                   |               |
| لاک‌الکل: پخت                   | ۱۵۰ تا ۱۸۰        |               |
| رنگ‌های روغنی: پاشش (اسپری) رنگ | ۱۶ تا ۳۲          | ۸۰            |

بازده فیلتراسیون هوای موردنیاز، به فرایند رنگ‌کاری وابسته است. برای سطوح پرداختی نرم، نظیر بدنه خودرو، فیلترهای هوای ذره‌ای پربازده برای توزیع هوای خارجی موردنیاز می‌باشند. ممکن است که محصولات دیگر تنها نیازمند فیلترهای بازده-پایین یا متوسط باشند.

هوای جبرانی باید پیش‌گرم شود. در صورتی که پاشش رنگ توسط افراد انجام گیرد، اتاقک اسپری باید دارای سرعت سطحی  $0.5 \text{ m/s}$  باشد. در صورت استفاده از ربات‌ها برای فرایند رنگ‌کاری، امکان استفاده از مقادیر کمتری از هوا میسر می‌باشد. کوره‌ها نیز برای حفظ غلظت‌های گاز و بخارهای پایین‌تری از غلظت‌های انفجاری و احتراقی، باید از تخلیه هوا استفاده کنند. تجهیزات نیز باید از نوع ضد انفجاری باشند. هوای تخلیه باید توسط فرایند فیلتراسیون تصفیه گردد.

و حلال ها نیز باید احیاء و یا تمیز (ضد عفونی) شوند.

| فرایند                        |  | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|-------------------------------|--|-------------------|---------------|
| استودیوی عکاسی                |  |                   |               |
| اتاق رختکن                    |  | ۲۳ تا ۲۲          | ۴۰ تا ۵۰      |
| استودیو (اتاق دروبین)         |  | ۲۳ تا ۲۲          | ۴۰ تا ۵۰      |
| تاریک خانه فیلم               |  | ۲۲ تا ۲۱          | ۴۵ تا ۵۵      |
| تاریک خانه چاپ                |  | ۲۲ تا ۲۱          | ۴۵ تا ۵۵      |
| اتاق خشک سازی                 |  | ۳۲ تا ۳۸          | ۳۵            |
| اتاق پرداخت                   |  | ۲۲ تا ۲۴          | ۴۰ تا ۵۵      |
| فیلم سیاه و سفید و کاغذ       |  | ۲۲ تا ۲۴          | ۴۰ تا ۶۰      |
| فیلم رنگی و کاغذ              |  | ۴۰ تا ۵۰          | ۴۰ تا ۵۰      |
| استودیوی تصاویر متحرک (سینما) |  | ۲۲                | ۴۰ تا ۵۵      |

داده های بالا برای شرایط متوسط قابل استفاده می باشند. در برخی از فرایندها پردازش های رنگی، دماهای بالاتری تا حد ۴۰ °C استفاده می شوند و دمای اتاق بالاتری مورد نیاز می باشد.

به طور عکس، برای اطمینان از توازن کیفیت و رنگ عکس ها، در هنگام انبار و ذخیره بلندمدت، شرایط ذخیره آرمانی برای مواد رنگی، لزوم دماهای تبریدی و یا زیرانجمادی را ایجاد می کند.

گرمای آزاد شده در طول فرایندهای چاپ، بزرگ سازی و خشک سازی، از طریق یک سامانه تخلیه مستقل که قادر به پوشش هودهای خشک کن ها و چراغ ها نیز می باشد، دفع می گردد. تمامی نواحی، به غیر از انبار فیلم پرداخت شده، نیازمند تعداد اندکی از فیلترهای هوای ذره ای بازده- متوسط هستند.

| فرایند                                  |  | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|-----------------------------------------|--|-------------------|---------------|
| پلاستیک ها                              |  |                   |               |
| بخش های تولیدی                          |  |                   |               |
| سخت گردانی حرارتی ترکیبات قالب گیری شده |  | ۲۷                | ۲۵ تا ۳۰      |
| بسته بندی سلوفونی                       |  | ۲۴ تا ۲۷          | ۴۵ تا ۶۵      |

در بخش های تولیدی، در جایی که پلاستیک در حالت مایع. یا مذاب قرار دارد، می توان از فیلترهای هوای ذره ای پربازده استفاده نمود.

گردآوری خاک و غبار و کنترل گازها و بخارها نیز الزامی می باشد.

| فرایند     |  | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|------------|--|-------------------|---------------|
| تخته چندلا |  |                   |               |



|                                             |          |  |                           |
|---------------------------------------------|----------|--|---------------------------|
| ۶۰                                          | ۳۲       |  | پرس کاری داغ (رزین)       |
| ۲۵ تا ۲۵                                    | ۳۲       |  | پرس کاری سرد              |
| <b>کالاهای غوطه‌وری لاستیکی<sup>۱</sup></b> |          |  |                           |
|                                             | ۳۲       |  | تولید                     |
| ۳۰ تا ۲۵                                    | ۲۷       |  | چسب کاری                  |
| ۳۰ تا ۲۵                                    | ۲۷ تا ۲۴ |  | غوطه‌وری ابزار جراحی      |
| ۵۰ تا ۴۰                                    | ۲۴ تا ۱۶ |  | ذخیره قبل از فرایند تولید |
| *۵۰                                         | ۲۳       |  | آزمایشگاه اجرای تست       |

\* نقطه شبنم هوا باید زیر دمای تبخیر حلال باشد.

غالباً حلال‌های به‌کاررفته در فرایندهای تولیدی از نوع انفجاری و سمی می‌باشند که در نتیجه در این شرایط، تهویه فشارمثبت فضا الزامی می‌باشد. معمولاً تولیدکنندگان انبوه (با مقدار تولیدی زیاد)، از یک سامانه بازیابی حلال برای سامانه‌های تخلیه، استفاده می‌کنند.

| فرایند     | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|------------|-------------------|---------------|
| <b>چای</b> |                   |               |
| بسته‌بندی  | ۱۸                | ۶۵            |

محتوای رطوبت آرمانی برای حفظ کیفی و کمی چای، در حدود ۵ تا ۶ درصد است.

محتوای رطوبت حدپایین، برای حفظ کیفیت در حدود ۴ درصد است.

| فرایند                          | دمای حباب خشک، °C | رطوبت نسبی، % |
|---------------------------------|-------------------|---------------|
| <b>دخانیات</b>                  |                   |               |
| تولید سیگار برگ و سیگار تجاری   | ۲۴ تا ۲۱          | ۵۵ تا ۶۵      |
| نرم‌سازی                        | ۳۲                | ۸۵ تا ۸۸      |
| سیگارپیچی و برش                 | ۲۹ تا ۲۴          | ۷۰ تا ۷۵      |
| بسته‌بندی و حمل                 | ۲۴ تا ۲۳          | ۶۵            |
| ذخیره و تهویه مطبوع تنباکو      | ۲۴                | ۷۵            |
| ذخیره و آماده‌سازی تنباکو       | ۲۵                | ۷۰            |
| ذخیره و تهویه مطبوع کاغذ تنباکو | ۲۴                | ۷۵            |

\* رطوبت نسبی با حدود تنظیم شده توسط دستگاه تولید سیگار، نسبتاً ثابت است.

قبل از فرایند برش سیگارها، عملیات نرم‌سازی بر روی تنباکو انجام می‌گیرد.

<sup>۱</sup> فرایند فیلتراسیون تشریح شده در جدول ۱ باید مطابق با مقادیر کمینه تعریف شده توسط استاندارد ASHRAE ۵۲/۲ باشد:

| بازده          | MERV     |
|----------------|----------|
| بازده پایین    | ۷ تا ۸   |
| بازده متوسط    | ۱۰ تا ۱۲ |
| بازده بالا     | ۱۳ تا ۱۴ |
| بازده فوق بالا | ۱۵       |
| HEPA           | ۱۷ تا ۲۰ |

مهندس فرایند و مالک، باید مشخصات فرایند و فیلتراسیون HVAC را برای کاربردهای ویژه تعیین کنند.

در طول زمان، امکان تغییر فرایندهای صنعتی و یا الزامات قانونی وجود دارد، بنابراین سامانه مورد نظر باید تاحد امکان قادر به تامین الزامات آتی احتمالی باشد.

الزامات طراحی خارجی و دمای داخلی، رطوبت، پاکیزگی هوا، سر و صدا و تغییرات مجاز باید از طریق توافق با مالک صورت گیرند. تراضی (بهینه سازی از طریق توازن شرایط مطلوب و نا مطلوب) میان الزامات شرایط فرایندی و تولیدی و الزامات شرایط آسایش کارکنان، می تواند موجب بهینه سازی کیفیت و هزینه های تولیدی گردد.

محیطی که شرایط مطلوبی را برای اجرای ایمن کارهای محوله به کارگران و کارمندان، بدون هیچ خستگی ناشی از اثرات دمایی و میزان رطوبت فراهم می سازد، موجب بهبود کارایی می گردد.

**هشدار ویژه:** برخی از فضاهای صنعتی در شرایط معمولی و غیر معمولی، حاوی مواد اشتعال پذیر، قابل احتراق و یا مقادیر بالایی از بخارهای سمی و یا گرد و خاک می باشند. در چنین فضاهایی، مباحث ایمنی در اولویت قرار می گیرند، ولی فصل مذکور قادر به بررسی کامل مباحث مذکور نیست. در این مورد، اجرای اقدامات احتیاطی پیش گیرانه ویژه ای، بر طبق الزامات سازمان های شناخته شده و رسمی نظیر موسسه ملی حفاظت از حریق (NFPA)<sup>۲</sup>، سازمان سلامت و ایمنی شغلی (OSHA)<sup>۳</sup> و موسسه استانداردهای ملی آمریکا (ANSI)<sup>۴</sup> الزامی است. در تمامی شرایط، در صورت مواجهه مهندسان، طراحان و نصابان مختلف با کدها، و استانداردهای متضاد، استفاده از کدها یا استانداردهایی، با ایمنی بالاتری برای کارکنان در اولویت قرار می گیرد.

### ۳- الزامات فرایند و تولید

در صورت تاثیر شرایط محیط داخلی بر عوامل ذیل، یک فرایند تولیدی یا صنعتی نیازمند کنترل شرایط محیط داخلی است:

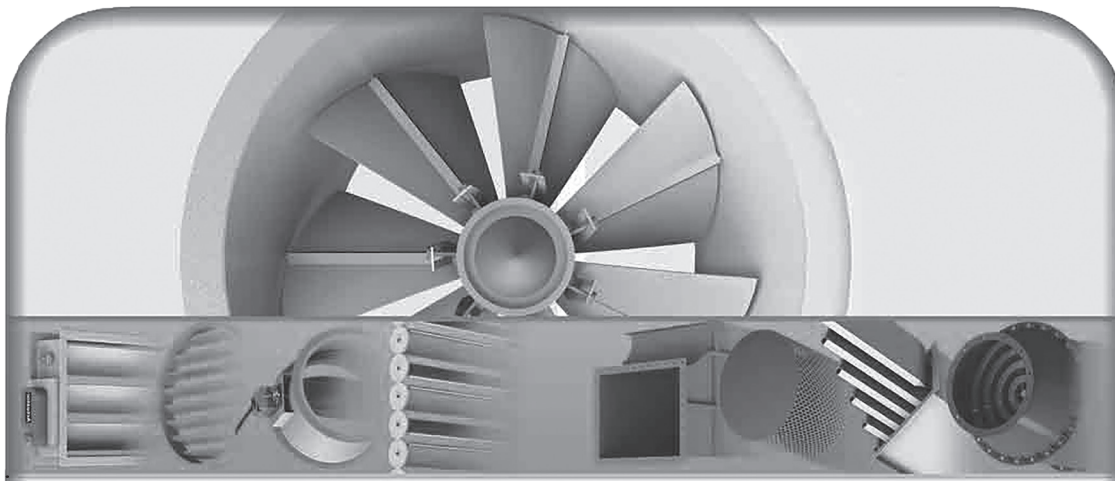
#### • نرخ واکنش شیمیایی

برخی از فرایندها نیازمند کنترل دما و رطوبت مناسبی برای تنظیم واکنش های شیمیایی هستند. برای مثال ابریشم مصنوعی (ریون)، از تنظیم دمایی- رطوبتی (تهویه مطبوع) ورقه های خمیر سلولزی، برش آنها به ابعاد مناسب و حریرنم سازی آنها به دست می آید. نرخ واکنش نیز مستقیماً توسط دما کنترل می گردد و رطوبت نسبی، نرخ تبخیر و استحکام محلول را ثابت نگه می دارد.

2- the National Fire Protection Association (NFPA)

3- the Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

4-the American National Standards Institute (ANSI)



در خشک‌سازی لاک الکل، فرایند اکسیداسیون به دما وابسته است. دماهای مطلوب مورد نیاز بر طبق نوع لاک الکل تغییر می‌کنند. رطوبت نسبی بالا موجب کاهش سرعت اکسیداسیون سطحی می‌گردد و در نتیجه امکان فرار گازهای داخلی، در هنگام عمل‌آوری درونی لاک الکل توسط اکسیدکننده‌های شیمیایی، میسر می‌گردد. بنابراین، سطح غیر حبابی، با لایه همگنی در سراسر آن ایجاد می‌گردد.

#### • نرخ تبلور

نرخ سرمایشی، اندازه کریستال‌های تشکیل شده از یک محلول اشباع را تعیین می‌کند. دما و رطوبت نسبی نیز با تاثیر بر نرخ سرمایشی، چگالی محلول را از طریق تبخیر، تغییر می‌دهند.

در دستگاه‌های روکش‌کننده قرص‌ها، محلول غلیظی از شکر به مجموعه قرص‌های در حال چرخش افزوده می‌گردد. هنگامی که آب تبخیر می‌گردد، کریستال‌های شکر، سطوح خارجی هر یک از قرص‌ها را می‌پوشانند و در صورت عبور نرخ جریان مناسبی از هوا از روی قرص‌ها که دارای دما و رطوبت نسبی مناسبی نیز باشد، روکش یکنواخت و غیرشفافی ایجاد می‌شود. در صورت کندی شدید فرایند سرمایش و خشک‌سازی، روکش قرص‌ها به حالت زبر، شفاف و با ظاهری نامناسب در خواهند آمد و در صورت سرعت شدید فرایند سرمایش و خشک‌سازی، خردشدگی داخلی روکش قرص‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

#### • نرخ واکنش زیست‌شیمیایی

برای تنظیم نرخ واکنش‌های زیست‌شیمیایی فرایند تخمیر، کنترل دما و رطوبت فرایند الزامی می‌باشد. برای حفظ دماهای داخلی یکسان و یکنواخت، بسیاری از مخازن تخمیر از پوشش‌های سطحی بهره می‌برند. وابسته به نوع فرایند، مخازن تخمیر را در دماهای مختلفی نگه می‌دارند. در تولید آب‌جو، دماهای تخمیر مناسب در گستره  $7-11^{\circ}\text{C}$  قرار دارند. به دلیل پوشش سطحی مخازن تخمیر، نیازی به کنترل دقیق دمای اتاق نیست. در صورت امکان، معمولاً دماهای فضای داخلی اتاق تخمیر، نزدیک دمای فرایند داخلی ظرف تخمیر در نظر گرفته می‌شوند.

در طراحی چنین فضاهایی باید گازها و محصولات فرعی تولیدی خروجی ناشی از فرایند تخمیر را در نظر گرفت. به طور معمول، دی اکسید کربن متداول ترین محصول فرعی ناشی از تولید تخمیری آبجو می باشد که خطر بالقوه ای را در افزایش فشار مفرط فضای مخزن تخمیر ایجاد می کند. در صورت تولید غلظت های بالایی از دی اکسید کربن ناشی از فرایند تخمیر، تهویه کافی و مناسب مخزن تخمیر ضروری می باشد.

در فرایندهای زیست دارویی، ارگانیسم های زیان بار می توانند از مخزن تخمیر خارج گردند؛ طراحی فضاهای نگهداری مخازن تخمیر فرایندهای زیست دارویی باید به گونه ای باشد که فضایی کاملاً بسته و درزبند را به وجود آورد. افزایش گرمای ناشی از مخازن بخارپاش نیز باید در طراحی فضاهای مذکور لحاظ گردند.

### • دقت و یکنواختی تولید

دما و تمیزی هوا بر کیفیت ابزارهای تولیدی، لنزها و ابزار آلات دقیق دیگر اثرگذار می باشند. در فرایند تولید، رواداری های مجاز در حدود  $5 \mu\text{m}$  می باشند و کنترل دقیق دمای حدود  $\pm 2/8 \text{ K}$  از انبساط و انقباض مواد جلوگیری می کند؛ ثبات دما در طول زمان، از سطوح دمایی با اهمیت تر است. معمولاً انتخاب تجهیزات تهویه مطبوع بر طبق شرایط آسایش کارکنان و جلوگیری از ایجاد لایه رطوبت سطحی انجام می گیرد. در برخی از موارد کاربرد یک فیلتر هوای جاذب مواد ذره ای پربازده (HEPA) و یا یک فیلتر هوای جاذب مواد ذره ای فوق ریز (ULPA)، الزامی می باشد.

### • قابلیت تولید محصول

برای تولید بهینه قرص ها، کنترل دقیق رطوبت الزامی است. فرایند تولید قرص ها عموماً مستلزم رطوبت نسبی کمتر از ۴۰ درصدی، در دمای  $20^\circ \text{C}$  است.

### • بازیابی رطوبت

دما و رطوبت نسبی هوا به طور قابل توجهی بر نرخ و حجم تولید، استحکام، ظاهر و کیفیت تولید یا فرآوری مواد نم گیری نظیر منسوجات، کاغذ، چوب، چرم و تنباکو تاثیرگذار می باشند. رطوبت موجود در مواد گیاهی و حیوانی (و برخی از مواد معدنی) از طریق فرایند بازیابی رطوبت (درصد رطوبت جذب شده در یک ماده در مقایسه با جرم کاملاً خشک ماده مذکور)، با رطوبت هوای اطراف به تعادل می رسد. برای مثال، اگر پس از خشک سازی کامل ماده ای با جرم  $2/5$  کیلوگرم، در شرایط استاندارد  $10-10.5^\circ \text{C}$ ، جرم ماده مذکور به مقدار  $2/25$  کیلوگرم برسد، جرم رطوبت جذبی ماده مذکور برابر  $0/25$  کیلوگرم خواهد بود و بازیابی رطوبت آن برابر ۱۰ درصد است.

جدول ۲ مقادیر متداول بازیابی رطوبت مواد مختلف را در دمای  $24^\circ \text{C}$  و در شرایط تعادلی با رطوبت های نسبی مختلف، ارائه کرده است.

5- high-efficiency particulate air (HEPA)

۶- فیلتر هوای جاذب مواد ذره ای پربازده (HEPA): فیلتر هوایی با قابلیت حذف ۹۹/۹۷ درصدی ذراتی با اندازه  $0.3 \mu\text{m}$ .

7- ultralow-penetration air (ULPA)

۸- فیلتر هوای جاذب مواد ذره ای فوق ریز (ULPA): فیلتر هوایی با قابلیت حذف ۹۹/۹۹۹ درصدی ذراتی با اندازه  $1 \mu\text{m}$  یا بزرگ تر.

جدول ۲: بازیابی رطوبت مواد نم گیر \*

| کلاس بندی             | جنس                                      | شرح                                                | رطوبت نسبی |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       |                                          |                                                    | 90         | 80   | 70   | 60   | 50   | 40   | 30   | 20   | 10   |
| فیبرهای منسوجات طبیعی | پنبه                                     | پنبه جزیره دریایی <sup>۲</sup> -<br>قبل از ریشش    | ۱۴/۱       | ۱۱/۵ | ۹/۵  | ۷/۹  | ۶/۶  | ۵/۵  | ۴/۶  | ۳/۷  | ۲/۵  |
|                       | پنبه                                     | پنبه آمریکایی-<br>پارچه                            | ۱۴/۳       | ۱۰   | ۸/۱  | ۶/۸  | ۵/۹  | ۵/۲  | ۴/۴  | ۳/۷  | ۲/۶  |
|                       | پنبه                                     | جاذب                                               | ۲۵/۸       | ۲۴/۳ | ۲۲/۸ | ۲۰/۸ | ۱۸/۵ | ۱۵/۷ | ۱۲/۵ | ۹    | ۴/۸  |
|                       | پشم                                      | پشم گوسفند<br>مرینوس-کلاف                          | ۲۳/۴       | ۱۹/۹ | ۱۷/۲ | ۱۴/۹ | ۱۲/۸ | ۱۰/۸ | ۸/۹  | ۷    | ۴/۷  |
|                       | ابریشم                                   | پشم گوسفند<br>سیونس فرانسوی <sup>۳</sup> -<br>کلاف | ۱۸/۳       | ۱۴/۳ | ۱۱/۹ | ۱۰/۲ | ۸/۹  | ۸    | ۳/۹  | ۵/۵  | ۳/۲  |
|                       | کتان                                     | رومیزی                                             | ۱۰/۲       | ۸/۴  | ۷    | ۶/۱  | ۵/۱  | ۴/۳  | ۳/۶  | ۲/۹  | ۱/۹  |
|                       | کتان                                     | نخ تابیده خشک                                      | ۱۳/۸       | ۱۱/۲ | ۹/۸  | ۸/۹  | ۸/۱  | ۷/۳  | ۶/۵  | ۵/۴  | ۳/۶  |
|                       | کنف                                      | مخلوط متعادل از<br>چندین گرید                      | ۲۰/۲       | ۱۷/۱ | ۱۴/۴ | ۱۲/۲ | ۱۰/۲ | ۸/۵  | ۶/۹  | ۵/۲  | ۳/۱  |
|                       | الیاف شاهدانه                            | طناب سایل و<br>مانیلا <sup>۴</sup>                 | ۱۵/۷       | ۱۳/۶ | ۱۱/۶ | ۹/۹  | ۸/۵  | ۷/۲  | ۶    | ۴/۷  | ۲/۷  |
|                       | ابریشم مصنوعی (ریون)                     | نیتروسلولز ویسکوز                                  | کلاف متوسط | ۱۶   | ۱۴/۲ | ۱۲/۴ | ۱۰/۸ | ۹/۲  | ۷/۹  | ۶/۸  | ۵/۷  |
| کاغذ                  | استات سلولز<br>کوپرامونیومی <sup>۵</sup> |                                                    | ۵/۳        | ۴/۳  | ۳/۶  | ۳    | ۲/۴  | ۱/۹  | ۱/۴  | ۱/۱  | ۰/۸  |
|                       | کاغذ روزنامه‌ای<br>M.F.                  | خمیر کاغذ- خاکستر<br>۲۴ درصدی                      | ۱۰/۶       | ۸/۷  | ۷/۲  | ۶/۱  | ۵/۳  | ۴/۷  | ۴    | ۳/۲  | ۲/۱  |
|                       | کاغذ دفتری<br>H.M.F.                     | خمیر کاغذ- خاکستر<br>۳ درصدی                       | ۱۴/۲       | ۱۱/۹ | ۹/۹  | ۸/۳  | ۷/۲  | ۶/۲  | ۵/۲  | ۴/۲  | ۳    |
|                       | کاغذ سند                                 | ضایعات پارچه-<br>خاکستر ۱ درصدی                    | ۱۳/۲       | ۱۰/۸ | ۸/۸  | ۷/۵  | ۶/۵  | ۵/۵  | ۴/۷  | ۳/۷  | ۲/۴  |
|                       | کاغذ ثبت دفتری                           | ضایعات پارچه ۷۵<br>درصدی- خاکستر ۱<br>درصدی        | ۱۳/۹       | ۱۰/۳ | ۸/۱  | ۶/۹  | ۶/۲  | ۵/۶  | ۵    | ۴/۲  | ۳/۲  |
| مواد آلی متفرقه       | کاغذ ضخیم<br>بسته بندی                   | چوب کاج                                            | ۱۴/۹       | ۱۲/۶ | ۱۰/۵ | ۸/۹  | ۷/۶  | ۶/۶  | ۵/۷  | ۴/۶  | ۳/۲  |
|                       | چرم                                      | چرم کفکش پوست<br>بلوط- دباغی شده                   | ۲۹/۲       | ۲۴   | ۲۰/۶ | ۱۸/۳ | ۱۶   | ۱۳/۶ | ۱۱/۲ | ۸/۵  | ۵    |
|                       | زه- ریسمان<br>(ساخته شده از<br>روده)     | سیم‌های راکتی                                      | ۲۱/۷       | ۱۹/۸ | ۱۷/۳ | ۱۴/۳ | ۱۲   | ۱۰/۲ | ۸/۶  | ۷/۲  | ۴/۶  |
|                       | چسب مایع                                 | پوست خام                                           | ۱۲/۵       | ۱۱/۸ | ۱۰/۷ | ۹    | ۷/۶  | ۶/۶  | ۵/۸  | ۴/۸  | ۳/۴  |
|                       | لاستیک                                   | لاستیک‌های توپر                                    | ۰/۹۹       | ۰/۸۸ | ۰/۷۶ | ۰/۶۶ | ۰/۵۴ | ۰/۴۴ | ۰/۳۲ | ۰/۲۱ | ۰/۱۱ |
|                       | چوب                                      | الوار (متوسط)                                      | ۲۲         | ۱۷/۵ | ۱۴   | ۱۱/۳ | ۹/۳  | ۷/۶  | ۵/۹  | ۴/۴  | ۳    |
|                       | صابون                                    | سفید                                               | ۲۳/۸       | ۱۹/۸ | ۱۶/۱ | ۱۲/۹ | ۱۰   | ۷/۶  | ۵/۷  | ۳/۸  | ۱/۹  |
|                       | تنباکو                                   | سیگار                                              | ۵۰         | ۳۳/۵ | ۲۵   | ۱۹/۵ | ۱۶   | ۱۳/۳ | ۱۱   | ۸/۶  | ۵/۴  |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |                     |               |                        |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|---------------|------------------------|
| ۰/۸۴ | ۰/۷۳ | ۰/۶۲ | ۰/۵۱ | ۰/۴۱ | ۰/۳۲ | ۰/۲۶ | ۰/۲۴ | ۰/۱۶ | با توزیع ظرفیت/ ریز | فیبرآزبستی    | مواد غیر آلی<br>متفرقه |
| ۲۲/۶ | ۲۱/۵ | ۲۰/۲ | ۱۸/۸ | ۱۷/۲ | ۱۵/۲ | ۱۲/۷ | ۹/۸  | ۵/۷  |                     | ژل سیلیکا     |                        |
| ۱/۸۹ | ۱/۶۷ | ۱/۴۶ | ۱/۲۴ | ۱/۰۳ | ۰/۸۱ | ۰/۶۱ | ۰/۴۰ | ۰/۲۰ |                     | زغال خانگی    |                        |
| ۳۲/۷ | ۳۱/۱ | ۳۰   | ۲۹/۲ | ۲۸/۳ | ۲۶/۲ | ۲۲/۸ | ۱۴/۳ | ۷/۱  | فعال شده توسط بخار  | زغال چوب فعال |                        |
| ۸۲/۵ | ۷۳/۵ | ۶۷   | ۶۱/۵ | ۵۷   | ۵۲/۵ | ۴۷/۵ | ۴۱/۰ | ۳۳   |                     | اسید سولفوریک |                        |

\* محتوای رطوبت جدول مذکور بر حسب درصد جرم خشک ماده و در رطوبت‌های نسبی مختلف، و دمای ۲۴ °C ارائه شده است.

تغییر دما بر نرخ جذب رطوبت و یا رطوبت‌گیری که عموماً با ضخامت، چگالی و طبیعت مواد تغییر می‌کند، موثر است. تغییرات ناگهانی دما حتی در رطوبت نسبی ثابت نیز موجب تغییرات اندکی در بازایی رطوبت می‌شود، اما تغییرات عمده بازایی رطوبت همواره تابعی از رطوبت نسبی هوا هستند.

مواد نم‌گیر، گرمای محسوسی که معادل مقدار گرمای نهان رطوبت جذب شده است را به هوا بازپس می‌دهند. در صورتی که مقدار گرمای آزاد شده، مقدار قابل توجهی باشد، مقدار گرمای مذکور را باید به بار سرمایشی فضای مسکونی اضافه نمود، اما به طور معمول مقدار گرمای مذکور بسیار اندک است. صرفه‌جویی در تولید مستلزم حفظ میزان بازایی رطوبت در سطوح مطلوب خود، برای اجرای سریع و رضایت‌بخش امور فنی و تخصصی می‌باشد. تامین رطوبت نسبی یکنواخت، امکان کارکرد پربازده و موثر ماشین‌آلات پرسرعت را فراهم می‌سازد.

در طول فرایند تولید و یا فرآوری، برخی از مواد در معرض رطوبت مورد نیاز فرایندهای مذکور قرار می‌گیرند و برخی از مواد دیگر نیز بعد از فرایندهای تنظیم دمایی رطوبتی (تهویه مطبوع) و خشک‌سازی، به‌طور کاملاً مجزایی مورد فرآوری قرار می‌گیرند. تهویه مطبوع موجب کاهش و یا افزایش رطوبت موجود در هوا می‌گردد. فرایند خشک‌سازی (نم‌گیری) نیز رطوبت موجود در هوا و رطوبت آزاد بیش از مقدار تعادلی را رفع می‌کند. فرایندهای خشک‌سازی و تهویه مطبوع را می‌توان برای حذف رطوبت و تنظیم دقیق محتوای رطوبت نهایی محصولات تولیدی نظیر تنباکو و منسوجات ترکیب نمود. در بسیاری از موارد، فرایند تهویه مطبوع یا خشک‌سازی، فرایند مستمری است که در طول آن، مواد مورد نظر از میان تونلی عبور می‌کنند و در این حین، در معرض شرایط جوی کنترل شده‌ای قرار می‌گیرند.

#### • خوردگی، زنگ‌زدگی و ساییدگی

در تولید محصولات فلزی، برای جلوگیری از تعرق دست‌ها و در نتیجه محافظت از سطوح پرداخت شده محصولات فلزی از اثر انگشت، ایجاد لکه و اثرات خوردگی، دما و رطوبت نسبی باید تا حد امکان در مقادیر پایینی نگاه داشته شوند. نمک و اسید موجود در عرق بدن در طول چند ساعت موجب خوردگی و زنگ‌زدگی محصولات فلزی می‌شوند. برای جلوگیری از ساییدگی سطحی، تولید سطوح صیقلی و لاستیک‌های رادیال تسمه فولادی مستلزم فیلتراسیون بازده متوسط<sup>۹</sup> یا بالا<sup>۱۰</sup> می‌باشد.

#### • پاکیزگی هوا

میزان و نوع فیلتراسیون مورد نیاز هر کاربردی، برای رفع اثرات نامطلوب احتمالی ناشی از ذرات خاک، باکتری‌های موجود در هوا، دود، هاگ‌ها، دانه‌های گرده و ذرات بر محصول یا فرایند، باید مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. اثرات مذکور شامل

9- medium-efficiency filtering

10- HEPA filtering



ماهانامه فنی و مهندسی

تغییر شیمیایی مواد تولیدی، فساد محصولات فاسدشونده و انسداد روزه‌های کوچک دستگاه‌های دقیق می‌باشند.

#### • الکتریسیته ساکن

الکتریسیته ساکن غالباً عاملی زیان‌بار در فرآوری مواد سبکی نظیر الیاف منسوجات و کاغذ محسوب می‌گردد و در هوایی با پتانسیل بالای احتراق و انفجار و یا برای موادی با قابلیت احتراقی و انفجاری بالا، به شدت خطرناک است. معمولاً در فضایی با رطوبت نسبی بالای ۳۵ درصدی، کمترین بارهای الکتریکی ساکن وجود دارند. به دلیل افزایش دمای ناشی از کارکرد ماشین‌آلات، و در نتیجه افزایش دمای محیط دستگاه‌ها به بالاتر از دمای موردنظر اتاق و ایجاد مناطق موضعی و مجزایی با رطوبت نسبی پایین، لزوم حفظ رطوبت نسبی اتاق به میزان ۶۵ درصد و یا بیشتر، الزامی است. چنین مناطقی را می‌توان جزء منابع الکتریسیته ساکن قلمداد نمود. مناطق مونتاژ قطعات یک کارخانه مهمات نیز باید دارای طرحی با دمای  $24^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی ۶۰-۴۰ درصدی باشند. به‌علاوه، تجهیزات جابه‌جایی هوا (بادزن‌ها) نیز باید از نوع ضد جرقه انتخاب گردند.

با توجه به استاندارد NFPA ۷۷، فرایند رطوبت‌افزایی موجب افزایش رسانایی سطحی مواد می‌گردد، اما بار الکتریکی ساکن تنها در صورت وجود مسیر هادی و رسانایی تا زمین، مستهلک می‌گردد.

با این وجود، فرایند رطوبت‌افزایی، راه‌حل کاملی برای رفع مشکلات ناشی از الکتریسیته ساکن نمی‌باشد. جذب و عدم جذب سطحی رطوبت هوا توسط برخی از عایق‌ها صورت می‌گیرد و رطوبت بالا موجب کاهش قابل توجهی در ضریب مقاومت سطحی آن‌ها نمی‌شود. مثال‌هایی از این دست شامل سطوح غیر آلوده برخی از مواد پلی‌مری (برای مثال، لوله‌ها و محفظه‌های پلاستیکی، فیلم‌ها) و سطح مایعات نفتی می‌باشند. سطوح مذکور قادر به انباشتگی و گردآوری بار الکتریکی ساکن، حتی در رطوبت هوای ۱۰۰ درصدی هستند.

ادامه دارد ...