

علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره چهار، زمستان ۱۳۸۸

## کنترل بخارات اسیدی در صنعت آندایزینگ آلومینیوم و طراحی سیستم تهویه مناسب

سید مصطفی خضری<sup>۱</sup>

نبی الله منصوری<sup>۱</sup>

فریده عتابی<sup>۱</sup>

آزاده صدقی نیا<sup>۲\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۱۰

تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۱۰

### چکیده

همگام با پیشرفت بشر در جنبه های مختلف فن آوری، صنعت آندایزینگ آلومینیوم نیز پیشرفت چشمگیری داشته و همانند سایر صنایع پیشرونده، این صنعت مهم نیز به نوبه خود اثرات مخرب زیست محیطی به همراه داشته است. در بین مواد آلوده کننده و مضر در این صنعت، تأثیر میست های اسیدی غیر آلی، از جمله اسید سولفوریک قابل تأمل است. صنعت آندایزینگ آلومینیوم، یکی از صنایع مخاطره آمیز تماس با اسید سولفوریک می باشد. این طرح به منظور کنترل میست اسید سولفوریک در فرآیند آندایزینگ آلومینیوم در کارخانه ای در شهر صنعتی البرز واقع در شهر قزوین انجام گرفته است. پس از انجام نمونه برداری نتایج حاکی از آن بود که تراکم میست های اسید سولفوریک در فضای کارگاه ۸ برابر حد مجاز است (حد مجاز ۱ میلی گرم بر متر مکعب). به منظور کنترل انتشار میست اسید سولفوریک در محیط کارگاه و منطقه تنفسی کارگران، پس از بررسی، سیستم تهویه موضعی مطابق روش فشار سرعت (VP) و بر اساس بالانس کردن شاخه ها انجام شد.

هود انتخابی مطابق هودهای استاندارد ارایه شده در کمیته تهویه صنعتی انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH) انتخاب گردید و میزان هواگذر استاندارد (scfm) مورد نیاز برای تانک های روباز برای هر هود معادل ۱۰۵۰ فوت مکعب در دقیقه محاسبه شد و با توجه به شرایط سایکرومتری موجود در محل کارگاه و هواگذر واقعی، برای هر هود ۱۲۳۹cfm در نظر گرفته شد. کل سیستم به ۴ واحد تهویه مجزا تقسیم گردید که به ترتیب دو سیستم دارای ۱۲ هود (۹ هود با مکش یک طرفه و ۳ هود با مکش دو طرفه) می باشد و دو

۱- استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران\* (مسئول مکاتبات)

سیستم دیگر هر یک دارای ۹ هود با مکش یک طرفه می باشد. جنس کانال مورد استفاده جهت مقاوم بودن در برابر خوردگی استیل ۳۱۶ انتخاب شده است. جهت تصفیه هوای خروجی پس از مطالعات لازم، سیستم اسکرابر از نوع *Mist eliminator* انتخاب شد. همچنین جهت تامین نیروی محرکه مورد نیاز، هواکش گریز از مرکز نوع *Back Ward* پیش بینی شده است.

**واژه های کلیدی:** آندایزینگ آلومینیوم، اسید سولفوریک، سیستم تهویه موضعی، هواگذر واقعی، اسکرابر.

## مقدمه

بازده کار و جمع آوری کامل میست ها از گلوله های پلاستیکی (poly balls) در سطح وان اسید، استفاده شد که این گلوله ها میست های رها شده از سطح الکترولیت را مجدداً به داخل بر می گرداند.

## مواد و روش تحقیق

به منظور تعیین میزان آلاینده اسید سولفوریک در محیط کارگاه به مدت یک ماه نمونه برداری به روش ID-113 (OSHA) (۵) در نقاط مختلف کارگاه انجام گرفت و نتایج نشان داد که میزان تراکم بخارات اسید سولفوریک در محیط ۸ برابر میزان مجاز است.

سالن آبکاری کارخانه مورد نظر در زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع احداث شده است. ترتیب قرار گیری وان های واحد آبکاری به شرح زیر است: ۱- وان چربی گیر ۲- وان اچ سرد ۳- وان اچ گرم ۴- آب ۵- وان خنثی سازی ۶- آب ۷- آندایزینگ ۸- آب ۹- آندایزینگ ۱۰- آندایزینگ ۱۱- آب ۱۲- آندایزینگ ۱۳ و ۱۴- آب ۱۵- رنگ ۱۶- آب ۱۷- پیش سیل ۱۸- سیل .

در صنعت مورد مطالعه، فرآیند به گونه ای است که عملیات آندایزینگ قطعات به کمک یک جرقه‌ییل صورت می گیرد. این جرقه‌ییل در طول وان ها حرکت و برگشتی دارد و وظیفه آن ورود و خروج پروفیل ها به داخل وان اسید است. به دلیل سمیت میست های اسید سولفوریک و این که کارکنان مجبور به حضور در بالای وان های آندایز هستند به منظور ممانعت از عبور آلاینده از منطقه تنفسی شاغلان و همچنین به این دلیل که غلظت میست های منتشره در سطح الکترولیت بیشتر از سطوح بالاتر می باشد، استفاده از هودهای

آندایزینگ آلومینیوم کاربرد صنعتی و تجاری بسیاری دارد. با توجه به وسعت آندایزینگ آلومینیوم تعداد زیادی نیروی شاغل در این صنعت به کار اشتغال دارند. لذا به منظور حفظ سلامت کارکنان در این صنعت، به وجود آمدن شرایط بهداشتی مناسب امری مهم جلوه می نماید.

در این مطالعه به منظور پیشگیری از اثرات سوء بهداشتی بر جمعیت شاغل، تلاش شده که یک سیستم تهویه مناسب برای جلوگیری از تماس بیش از حد شاغلان با آلاینده ها طراحی گردد و به منظور کنترل میزان آلاینده های خروجی، از یک سیستم تصفیه کننده مناسب استفاده شود. اسید سولفوریک اسید معدنی بسیار قوی می باشد. این اسید با هر درصدی در آب حل می شود (۱)، حد آستانه مجاز برای اسید سولفوریک ۱ میلی گرم در متر مکعب است (۲). ترکیبات اسید سولفوریک، سوزاننده و خورنده است و توسط پوست و سیستم تنفس جذب می شود، همچنین در طولانی مدت سبب ادم ریوی، خوردگی دندان ها و بروز سرطان می شود (۳).

در طول عملیات آبکاری گاز هیدروژن از کاتد و گاز اکسیژن از آند به صورت حباب هایی در سطح الکترولیت ظاهر می شوند. این حباب ها منشأ تولید میست های اسیدی در هوا هستند. بدین صورت که ابتدا حباب های تولید شده در الکترودها بالا آمده و پس از رسیدن به سطح الکترولیت می ترکند و متعاقب آن میست های ریزی در بالای سطح الکترولیت ایجاد می نمایند (۴).

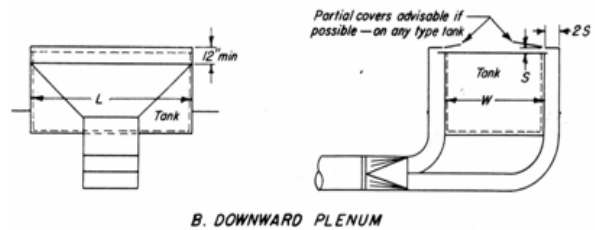
در این مطالعه برای کنترل میست های اسیدی یک سیستم تهویه مناسب طراحی شد و در کنار آن برای بالا بردن

- ابتدا طبقه (کلاس) آلاینده را تعیین می شود. طبق اطلاعات موجود در ACGIH، میست اسید سولفوریک مشمول کلاس ۱-B می باشد.
- با مراجعه به جدول ۱ و با توجه به طبقه آلاینده، حداقل سرعت کنترل لازم به هنگام استفاده از هودهای کناری  $100\text{ fpm}$  می باشد.
- با مراجعه به جدول ۲ و با توجه به نوع هود، نسبت  $W/L$  و حداقل سرعت کنترل لازم، میزان دبی مورد نیاز به ازای هر فوت مربع از سطح وان  $(\text{cfm}/\text{ft}^2)$   $150$  می باشد.

کناری که جمع آوری آلاینده در پایین ترین سطح را امکان پذیر می نماید، در اولویت قرار دارد(۶).

لذا از بین طرح های ارائه شده برای طراحی هود در مخازن روباز (Open Surface Tank) توسط کمیته تهویه صنعتی انجمن بهداشت صنعتی آمریکا<sup>۱</sup> (ACGIH) طرح  $V_s-503$  (B.Downward Plenum) به عنوان مبنای کار طراحی هود انتخاب گردید(شکل ۱).

انجام عملیات آندایزینگ به این صورت است که پس از مراحل چربی گیری، اچ کاری و خنثی سازی، قطعات وارد وان های آندایز می شوند. ابعاد وان های آندایز  $120 \times 1300\text{ cm}$  و ارتفاع  $280\text{ cm}$  می باشد و ارتفاع وان ها از کف ۱ متر است.



شکل ۱- شمای هود انتخابی و مشخصات مربوط آن

### تعیین اختصاصات سیستم تهویه موضعی

محاسبات مربوط به سیستم تهویه موضعی شامل محاسبات مربوط به ابعاد هود، تعیین سرعت و دبی لازم، همچنین شامل نقشه کلی سیستم تهویه، طراحی و محاسبات و اجزاء سیستم شامل هودها، مجاری، زانوها، ورودی ها، طول مسیرها و تعیین افت فشار نهایی می باشد.

### محاسبه دبی جریان هوا

در مواقع عادی و زمانی که جریان ها و آشفتنگی های غیر طبیعی در هوای محیط کار وجود نداشته باشد، میزان دبی طبق توصیه ACGIH به صورت زیر تعیین می گردد.

جدول ۱- تعیین حداقل سرعت کنترل لازم (فوت بردقیقه)

کلاس آلاینده	هودهای محصور کننده		هودهای کناری	هودهای خیمه ای	
	یک طرف باز	دو طرف باز		سه طرف باز	چهار طرف باز
A-1,A-2	۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰	Do not use	Do not use
A-3,B-1,B-2,C-1	۷۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۲۵	۱۷۵
B-3,C-2,D-1	۶۵	۹۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰
A-4,C-3,D-2	۵۰	۷۵	۵۰	۷۵	۱۲۵

جدول ۲- تعیین دبی لازم برای کنترل آلاینده ها با توجه به نسبت عرض به طول وان و حداقل سرعت کنترل

حداقل سرعت کنترل لازم (فوت بر دقیقه)	عرض تانک ÷ طول تانک				
		۰/۰ - ۰/۰۹	۰/۱ - ۰/۲۴	۰/۲۵ - ۰/۴۹	۰/۵ - ۰/۹۹

میزان هواگذر با توجه به نسبت عرض به طول و حداقل سرعت کنترل لازم به ازای هر فوت مربع از سطح وان

۵۰	۷۵	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۵
۷۵	۱۱۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۹۰
۱۰۰	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰	۲۲۵	۲۵۰
۱۵۰	۲۲۵	۲۶۰	۳۰۰	۳۴۰	۳۷۵

محل مورد نظر طراحی شد که سیستم ۱ و ۲ هر یک دارای ۱۲ هود ( ۹ هود با مکش یک طرفه و ۳ هود با مکش دو طرفه) بر روی وان های ۷ و ۹ قرار دارد و سیستم ۳ و ۴ هر یک دارای ۹ هود با مکش یک طرفه بر روی وان های ۱۰ و ۱۲ قرار دارد.

#### مشخصات سیستم تصفیه

اسکراپر جاذب میست به دلایل زیر جهت کنترل میست های اسید سولفوریک در صنعت مورد مطالعه انتخاب گردید.

- جاذب میست یکی از وسایل کنترلی است که جهت کنترل میست ها توصیه شده است.
- به همراه تولید و انتشار میست های اسید سولفوریک مقداری بخار آب تولید و در فضای کارگاه پراکنده می شود. در محیط های با رطوبت بالا اسکراپر ها وسایل مفیدی جهت کنترل هستند.

دبی به دست آمده در سطح وان ضرب شده و دبی به دست آمده نشانگر کل دبی لازم برای عمل تهویه می باشد. در این تحقیق میزان دبی کل وان ۲۵۱۴cfm به دست آمد. اما با توجه به این که در سطح وان از گلوله های پلاستیکی (poly ball) استفاده می شود و این گلوله ها در کاهش درصدی از آلودگی ناشی از میست ها موثرند و همچنین به علت فاصله نسبتاً زیاد سطح الکترولیت با لبه وان دبی کل وان ۱۲۵۷۰ cfm در نظر گرفته شد.

#### مشخصات سیستم تهویه

سیستم تهویه طراحی شده شامل ۶ هود بر روی لبه هر یک از وان ها که مجموعاً ۱۲ هود روی هر دو لبه وان می شود. نحوه قرار گیری وان های آندایزینگ به گونه ای است که وان ۹ و ۱۰ که هر دو وان های اسید هستند کنار هم قرار دارند برای طراحی سیستم تهویه بر روی این دو وان از ۶ هود با مکش دو طرفه استفاده شده است. در کل ۴ سیستم تهویه برای

$$7 - 0.66 = 6.34 \div 2 = 3.17ft$$

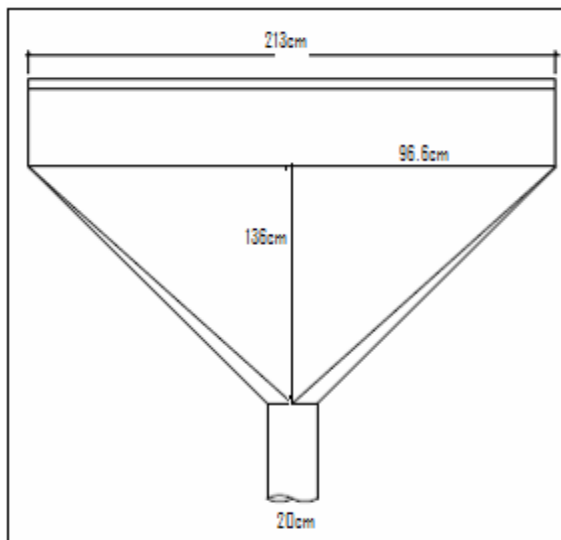
$$= 96.6cm$$

$$\text{قطر کانال-طول هود} = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} \rightarrow \text{وتر} = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\sin \alpha}$$

$$\text{ضلع مقابل} = 3.17ft$$

$$\alpha = 45^\circ \rightarrow \sin 45^\circ = 0.707$$

$$\frac{3.17}{0.707} = 4.48ft = 136cm$$



شکل ۲- ابعاد مربوط به هر هود

همچنین برخی از پارامترهای سیستم های طراحی شده در جدول ۳ و مشخصات مربوط به فن سیستم ها در جدول ۴ مشاهده می شود.

- اسید سولفوریک به راحتی در آب حل می شود، لذا به خوبی می توان از آب به عنوان مایع جاذب استفاده نمود.
- مایع جاذب یعنی آب، ارزان و به مقدار زیاد در دسترس است.
- سادگی و پایین بودن هزینه ساخت

### نتایج

#### محاسبه سرعت و ابعاد شکاف و هود

طراحی هود شامل تعیین ابعاد هود می باشد که پس از محاسبه در شکل ۲ نشان داده شده است.

طول هر شکاف برابر است با :

$$1300 \div 6 = 215 \text{ Cm}$$

$$\text{Design slot velocity} = 2000 \text{ fpm}$$

دبی هر شکاف برابر است با:

$$12570 \div 12 = 1050 \text{ Cfm}$$

ابعاد شکاف برابر است با:

$$As = \frac{Q}{V} = \frac{1050}{2000} = 0.6183 \text{ ft}^2$$

$$\text{Slot width} = \frac{A}{L} = \frac{0.6183}{7} = 1.0619 \text{ in}$$

عرض شکاف برابر است با

سطح کانال برابر است با

$$Ad = \frac{Q}{V} = \frac{1050}{3500} = 0.3540 \text{ ft}^2 \rightarrow d = 0.66 \text{ ft} = 20 \text{ cm}$$

جدول ۳- مشخصات سیستم ها

سیستم ۳ و ۴	سیستم ۱ و ۲	واحد	پارامتر
۱۱۵۸۳	۱۹۶۲۶	فوت مکعب در دقیقه	هوا گذر
۳۵۰۰	۳۵۰۰	فوت در دقیقه	حداقل سرعت طراحی کانال
۲۴	۳۰	اینچ	قطر کانال
۳۶۸۷	۴۰۰۸	فوت در دقیقه	سرعت واقعی کانال

جدول ۴- مشخصات فن سیستم ها

مشخصات فن سیستم ۳ و ۴	مشخصات فن سیستم ۱ و ۲	واحد	پارامتر
CETRIFUCAL BACKWARD- CURVED BLAD	CETRIFUCAL BACKWARD- CURVED BLAD		نوع فن
۵/۱۱۵	۱۱۵۲۹	فوت مکعب دقیقه	هواگذر
۴/۳۵	۴/۷۸	اینچ آب	فشار استاتیک هواکش
۵/۱۷	۵/۶	اینچ آب	فشار کل هواکش
۹/۲	۱۰	کیلو وات	توان حقیق
۱۸۸۱	۱۹۳۵	دور دقیقه	دور موتور
۱۱/۲	۱۱/۲	کیلو وات	توان موتور
اپوکسی با پوشش ضد اسید	اپوکسی با پوشش ضد اسید		جنس

## طراحی اسکرابر

در این مطالعه برای هر یک از سیستم های ۱ و ۲ و سیستم های ۳ و ۴ اسکرابر مجزا طراحی گردید (شکل ۳). طبق توصیه ACGIH میزان آب مورد مصرف در اسکرابر جاذب میست ۵-۱۵ گالن در دقیقه می باشد. در این تحقیق با توجه به شرایط موجود، میزان آب مصرفی به ازای هر ۱۰۰۰ cfm، به میزان ۱۰ گالن در دقیقه در نظر گرفته شد.

$$H_L = K_0 VP_0 + 1.5 VP$$

$VP$  = فشار سرعت در کانال خروجی in WG

$VP_0$  = فشار سرعت در جاذب میست in WG

$K_0$  = ضریب افت فشار در توری

و مقدار  $VP_0$  نیز به صورت زیر به دست می آید:

$$V_0 \leq 300 \text{ fpm} \rightarrow V_{p0} \leq 0.006 \text{ in WG}$$

ولی باید توجه داشت که اگر سرعت جریان هوا در داخل جاذب میست ۳۰۰ fpm یا کمتر باشد، در توری آن سرعت افزایش می یابد، پس فشار سرعت واقعی در توری به شرح زیر محاسبه می گردد:

$$V \leq 300 \text{ fpm} \quad aV_0 = v/n$$

$aV_0$  = سرعت واقعی در توری = fpm

$aVP_0$  = in WG فشار سرعت واقعی در توری

$n$  = نسبت سطح آزاد توری

$$aVP_0 = (aV_0 / 4005)^2 \rightarrow aVP_0 = (V / 4005n)^2$$

۰/۰۲۵ = افت مربوط به توری ها

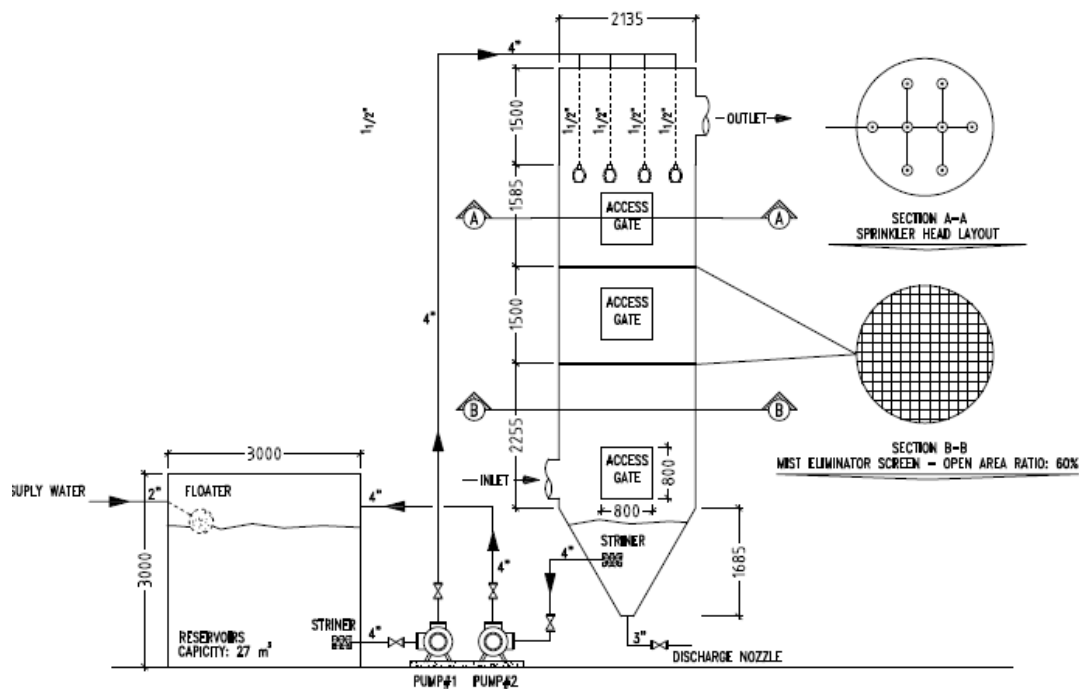
$$h_L = K_1 \times VP_1 + K_2 \times VP_2$$

۱/۲۹۵ = افت مربوط به اسکرابر سیستم ۱ و ۲

۱/۰۵ = افت مربوط به اسکرابر سیستم ۳ و ۴

۱۰،۹ m = ارتفاع موثر در اسکرابر سیستم ۱ و ۲

۹/۳ m = ارتفاع موثر در اسکرابر سیستم ۳ و ۴



شکل ۳- نمایی از اسکرابر

#### تفسیر نتایج

دادن آگاهی ها و آموزش های لازم به کارکنان شاغل در این صنعت از دیگر موارد ضروری است که باید به آن توجه شود.

#### منابع

- 1- [www.daneshnameh.roshd.ir](http://www.daneshnameh.roshd.ir)
- 2- [www.coogee.com](http://www.coogee.com)
- 3- [www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1761.pdf](http://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1761.pdf)
- 4- Occupational health clinics for Ontario workers inc; 1999; Electroplating A focus on Chrome plating; Canada.
- 5- [www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id165sg/id165sg.html](http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id165sg/id165sg.html)
- 6- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1998. Industrial Ventilation. a manual of recommended practices.

ضمن توجه به این موضوع که سالن های آندایزینگ آلومینیوم یکی از منابع آلوده کننده از نظر میزان بخارات اسیدی است، بررسی ها نشان می دهد که سیستم تهویه موضعی، به عنوان موثرترین و کارآمدترین روش جهت حذف میست های اسید سولفوریک با درصد حذفی بیش از ۹۰٪ است و در کنار آن استفاده از گلوله های پلاستیکی در سطح وان اسید بازده را تا ۹۹٪ بالا می برد. همچنین استفاده از اسکرابر جاذب میست اقتصادی ترین روش جهت تصفیه هوای آلوده می باشد. غلظت میست ها باید در پایین ترین ارتفاع ممکن و قبل از رسیدن به منطقه تنفسی کارگران صورت گیرد، همچنین به دلیل حرکت جرثقیل در بالای وان ها استفاده از هودهای کناری کارآمد ترین روش می باشد. پوشاندن روی وان ها در مواقعی که عملیات آندایزینگ انجام نمی شود از پراکنده شدن بخارات اسیدی در فضا جلوگیری می کند، همچنین استفاده از وسایل حفاظت فردی شامل محافظ صورت و عینک مقاوم در برابر مواد شیمیایی، ماسک تنفسی مناسب و