

بسمه تعالی

نقش مهندسی بهداشت حرفه ای در توسعه تکنولوژی های سبز (هوا، انرژی، آب، خاک و پسماندهای
صنعتی)

نویسنده : شعثا سادات فیض آبادی

رایانامه: sh.feyzabadi@aut.ac.ir



چکیده:

فناوری‌های سبز به عنوان محرک اصلی توسعه پایدار، در پی کاهش بار زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی در حوزه‌های هوا، انرژی، آب، خاک و مدیریت پسماند هستند. مهندسی بهداشت حرفه‌ای، با تمرکز ذاتی بر شناسایی، ارزیابی و کنترل مخاطرات سلامت و ایمنی در محیط کار، نقشی حیاتی و اغلب نادیده گرفته‌شده در طراحی، پیاده‌سازی و بهینه‌سازی این فناوری‌ها ایفا می‌کند. این مقاله با روش توصیفی-تحلیلی، به بررسی نقش چندوجهی مهندسان بهداشت حرفه‌ای در چرخه حیات فناوری‌های سبز می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که این متخصصان با ادغام اصول پیشگیری از منبع، ارزیابی مخاطرات شغلی نوظهور، طراحی فرآیندهای ایمن‌تر و پایدارتر، و پایش تأثیرات بهداشتی، به توسعه فناوری‌هایی کمک می‌کنند که نه تنها برای سیاره، بلکه برای سلامت و ایمنی کارگران و جوامع اطراف نیز مفید باشند. این مقاله استدلال می‌کند که ادغام دانش بهداشت حرفه‌ای از همان مراحل اولیه طراحی فناوری‌های سبز، کلید دستیابی به پایداری واقعی است.

کلمات کلیدی: مهندسی بهداشت حرفه‌ای، فناوری‌های سبز، توسعه پایدار، سلامت شغلی، ایمنی صنعتی، آلودگی هوا، انرژی تجدیدپذیر، مدیریت آب، پاکسازی خاک، مدیریت پسماند صنعتی

مقدمه:

چالش‌های زیست‌محیطی بی‌سابقه قرن بیست‌ویکم، توسعه و استقرار گسترده فناوری‌های سبز را به یک ضرورت جهانی تبدیل کرده است. این فناوری‌ها هدف کاهش ردپای کربن، حفظ منابع طبیعی و کاهش آلودگی در حوزه‌های حیاتی هوا، انرژی، آب، خاک و مدیریت پسماند را دنبال می‌کنند. در حالی که مزایای زیست‌محیطی این فناوری‌ها در کانون توجه قرار دارد، تأثیرات آنها بر سلامت و ایمنی نیروی کار در طول چرخه حیاتشان (از استخراج مواد خام و ساخت تا بهره‌برداری و دفع نهایی) نیازمند بررسی دقیق است. خود فرآیندهای ساخت، نصب، بهره‌برداری و دفع این فناوری‌ها می‌توانند منجر به مواجهه‌های شغلی جدید با مواد شیمیایی نوظهور، نانومواد، پسماندهای الکترونیکی، میدان‌های الکترومغناطیسی، ریسک‌های ارگونومیک پیچیده شوند اینجاست که **مهندسی بهداشت حرفه‌ای** به عنوان رشته‌ای علمی-کاربردی، با تخصص در پیشگیری از بیماری‌ها و آسیب‌های ناشی از کار، نقش خود را به‌طور جدی وارد عرصه می‌کند. مهندسان بهداشت حرفه‌ای تضمین می‌کنند که مسیر دستیابی به پایداری زیست‌محیطی، به قیمت به خطر افتادن سلامت انسان‌ها (به‌ویژه کارگران) تمام نشود. این مقاله نقش‌های کلیدی این متخصصان را در توسعه فناوری‌های سبز در پنج حوزه اصلی (هوا، انرژی، آب، خاک و پسماندهای صنعتی) بررسی می‌کند.



فناوری سبز (Green Technology) به مجموعه‌ای از روش‌ها، مواد، فرآیندها و محصولات اطلاق می‌شود که با هدف کاهش تأثیرات منفی انسان بر محیط زیست و حرکت به سوی توسعه پایدار طراحی و اجرا می‌شوند. این فناوری‌ها در پی حل چالش‌های زیست‌محیطی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی و تخریب منابع طبیعی هستند. هدف اصلی فناوری سبز حفاظت محیط زیست و منابع با کاهش آلودگی و مصرف در حوزه‌های کلیدی انرژی، آب، هوا، خاک و پسماند با ویژگی توجه همزمان به پایداری محیطی و اقتصادی است. این فناوری‌ها ابزار رسیدن به اهداف توسعه پایدار هستند مجدداً تأکید می‌گردد که "سبز" واقعی یعنی ایمن برای همه: هم محیط زیست، هم انسان‌ها.

ویژگی‌های کلیدی فناوری سبز:

۱. کاهش آلودگی:

- جلوگیری یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، پساب‌های سمی، پسماندهای خطرناک و آلاینده‌های هوا/خاک/آب.

۲. حفاظت از منابع:

- بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب، استفاده از منابع تجدیدپذیر (مانند خورشید، باد)، و بازیافت مواد.

۳. اقتصاد چرخشی: (Circular Economy)

- طراحی محصولاتی با قابلیت استفاده مجدد، تعمیر، بازیافت یا بازگشت به طبیعت.

۴. پایداری در چرخه حیات:

- توجه به تأثیرات زیست‌محیطی از مرحله استخراج مواد خام تا تولید، استفاده و دفع نهایی.

۵. سازگاری با سلامت انسان و اکوسیستم:

- عدم تولید مواد سمی برای انسان یا تنوع زیستی.

نمونه‌های کاربردی در حوزه‌های مختلف:

حوزه	نمونه فناوری‌های سبز
انرژی	پنل‌های خورشیدی، توربین‌های بادی، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی، باتری‌های تجدیدپذیر
آب	سیستم‌های تصفیه آب کم‌انرژی، جمع‌آوری آب باران، کشاورزی هوشمند
هوا	فیلترهای جاذب کربن، سیستم‌های نظارت بر کیفیت هوا، سوخت‌های پاک
خاک	روش‌های پاک‌سازی زیستی (Bioremediation)، کشاورزی ارگانیک
پسماند	بازیافت پیشرفته پلاستیک، زباله‌سوزهای تولیدکننده انرژی، کمپوست‌سازی صنعتی



چرا "فناوری سبز" حیاتی است؟

- **مقابله با تغییرات اقلیمی:** کاهش انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای.
- **امنیت منابع:** کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و منابع محدود.
- **اقتصاد مقاومتی:** ایجاد مشاغل سبز و کاهش هزینه‌های بلندمدت زیست‌محیطی.
- **سلامت عمومی:** کاهش بیماری‌های ناشی از آلودگی (تنفسی، سرطان‌ها، مسمومیت‌ها).

نکته کلیدی در تعریف فناوری سبز:

یک فناوری تنها زمانی واقعاً "سبز" محسوب می‌شود که در تمام مراحل چرخه حیات خود (تولید، بهره‌برداری، دفع) کم‌ترین آسیب را به محیط زیست وارد کند و برای سلامت انسان‌ها (به‌ویژه کارگران و جوامع محلی) ایمن باشد. اینجاست که نقش مهندسی بهداشت حرفه‌ای در تضمین "پایداری واقعی" فناوری‌های سبز حیاتی می‌شود.

✦ به عبارت ساده: فناوری سبز راه‌حل‌های هوشمندانه‌ای است که پیشرفت اقتصادی را با حفاظت از زمین و سلامت انسان‌ها آشتی می‌دهد

نقش کلیدی بهداشت حرفه‌ای در توسعه فناوری سبز در ۵ حوزه اصلی:

۱ هوا: کنترل آلودگی و طراحی سیستم‌های تهویه پایدار

- **طراحی ایمن سیستم‌های کنترل آلودگی هوا (Scrubbers, فیلترها):** مهندسان بهداشت حرفه‌ای در طراحی این سیستم‌ها اطمینان حاصل می‌کنند که خود فرآیند نصب، نگهداری و تعمیر آنها برای کارگران ایمن است (جلوگیری از مواجهه با مواد شیمیایی خورنده، گازهای خطرناک، فضای بسته، کار در ارتفاع)
- **ارزیابی مخاطرات شغلی در تولید فناوری‌های مرتبط با هوا (مثلاً سلول‌های سوختی، کاتالیست‌ها):** شناسایی مخاطرات در حین تولید مواد یا قطعات مورد استفاده در فناوری‌های پاک‌کننده هوا. ارزیابی و کنترل گردوغبار نانومواد در تولید فیلترهای نانویی و پنل‌های خورشیدی
- **بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه صنعتی:** طراحی سیستم‌های تهویه با راندمان بالا و مصرف انرژی بهینه (خود به عنوان یک فناوری سبز) برای کنترل مواجهه شغلی با آلاینده‌ها در صنایع مختلف، که به کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن کمک می‌کند.



- **پایش مواجهه شغلی:** استفاده از تکنیک‌ها و ابزارهای پایش (شخصی و محیطی) برای اندازه‌گیری اثربخشی سیستم‌های کنترل و حفاظت از کارگران در صنایع سبز مانند استفاده از سنسورهای پوشیدنی برای ردیابی مواجهه کارگران با آلاینده‌های باقیمانده یا محصولات جانبی واکنش‌های تصفیه هوا در صنایع

۲ انرژی (تجدیدپذیر): ایمنی در چرخه حیات

- **ارزیابی مخاطرات در ساخت و نصب:** شناسایی مخاطرات در ساخت پنل‌های خورشیدی (مواد نیمه‌هادی، فلزات سنگین) توربین‌های بادی (کار در ارتفاع، جابجایی قطعات سنگین، صدا، ارتعاش) و نیروگاه‌های زمین‌گرمایی* (گازها، دما، فشار).
- **ایمنی در بهره‌برداری و نگهداری:** توسعه پروتکل‌های ایمن برای نگهداری پنل‌های خورشیدی (ضدغفونی، کار روی سقف)، توربین‌های بادی (بالارفتن ایمن، قفل‌گذاری)، خطوط انتقال و پست‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر.
- **مدیریت پسماندهای پایان عمر:** ارزیابی مخاطرات مرتبط با دفع یا بازیافت پنل‌های خورشیدی مستعمل (مواد خطرناک) و پره‌های توربین بادی (کامپوزیت‌ها) و ارائه راهکارهای ایمن.
- **پیشگیری از منبع:** همکاری در طراحی تجهیزات و فرآیندهایی که استفاده از مواد خطرناک را در ساخت تجهیزات انرژی تجدیدپذیر به حداقل رسانده یا جایگزین کنند

۳ آب و فاضلاب: حفاظت از کارگران و منابع آبی .

- **ایمنی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب:** ارزیابی و کنترل مخاطرات بیولوژیکی (باکتری‌ها، ویروس‌ها)، شیمیایی (گازهای سمی مانند H_2S , CH_4 ، مواد شیمیایی پاک‌کننده) و فیزیکی (فضاهای بسته، سطوح لیز) برای کارگران تصفیه‌خانه‌ها و سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب.
- **طراحی ایمن فناوری‌های تصفیه پیشرفته:** مشارکت در طراحی ایمن سیستم‌هایی مانند اسمز معکوس، ازن‌زنی، فتوکاتالیست که ممکن است با مواد شیمیایی یا شرایط عملیاتی پرخطر سروکار داشته باشند.

* **نیروگاه‌های زمین گرمایی (Geothermal Power Plant)** نوعی نیروگاه تجدیدپذیر است که از گرمای ذخیره‌شده در اعماق زمین (انرژی زمین گرمایی) برای تولید برق استفاده می‌کند. برخلاف نیروگاه‌های خورشیدی یا بادی، این فناوری به صورت ۲۴ ساعته و در تمام فصول قابل بهره‌برداری است



- مدیریت ایمن و پساب: ارزیابی مخاطرات مرتبط با جمع‌آوری، حمل‌ونقل، فرآوری و دفع یا استفاده مجدد از لجن فاضلاب (پاتوژن‌ها، فلزات سنگین، ترکیبات آلی پایدار).

پایش کیفیت هوا و آب در محیط کار: اطمینان از ایمنی کارگران در مواجهه با آئروسول‌ها و بخارات در واحدهای تصفیه

۴ خاک: ایمنی در پاکسازی و احیا

- ارزیابی مخاطرات در سایت‌های آلوده: شناسایی و ارزیابی دقیق مخاطرات شیمیایی (حلال‌ها، هیدروکربن‌ها، فلزات سنگین)، بیولوژیکی و فیزیکی (ساختارهای ناپایدار، فضای بسته) برای کارگران مشغول در پاکسازی خاک‌های آلوده.
- انتخاب و نظارت بر روش‌های پاکسازی ایمن: کمک به انتخاب روش‌های پاکسازی (مکانیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، حرارتی) که کم‌ترین خطر را برای کارگران و محیط‌زیست اطراف داشته باشد. نظارت بر اجرای ایمن این روش‌ها (کنترل گردوغبار، بخارات، ایمنی تجهیزات).
- مدیریت ایمن مواد حفاری و خاک‌های آلوده: طراحی پروتکل‌های ایمن برای حفاری، بسته‌بندی، برچسب‌زنی، حمل‌ونقل و دفع نهایی خاک‌های آلوده.
- استفاده از PPE مناسب و برنامه‌های حفاظت تنفسی: طراحی و اجرای برنامه‌های موثر استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (به‌ویژه حفاظت تنفسی) متناسب با مخاطرات خاص سایت.

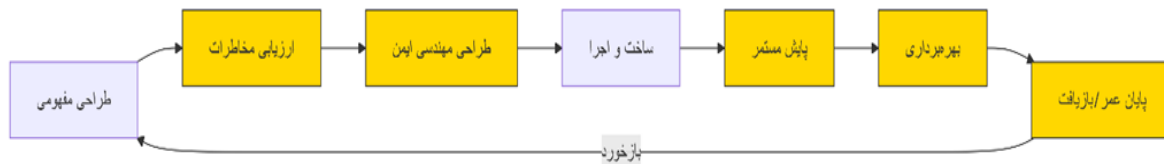
۵ پسماندهای صنعتی: حرکت به سوی اقتصاد چرخشی با رویکرد بهداشتی

- ارزیابی مخاطرات در فرآیندهای بازیافت: شناسایی مخاطرات در مراحل جمع‌آوری، جداسازی، خردایش، فرآوری و تبدیل پسماندهای صنعتی (الکترونیک، پلاستیک، فلزات، مواد شیمیایی) به منابع ثانویه (مواجهه با مواد خطرناک، گردوغبار، صدا، ارتعاش، ماشین‌آلات).
- طراحی ایمن واحدهای بازیافت و بازیابی انرژی (WtE): مشارکت در طراحی ایمن نیروگاه‌های زیاله‌سوز و تاسیسات هضم بی‌هوازی با تمرکز بر کنترل گازهای خطرناک (دیوکسین‌ها، فوران‌ها)، خاکستر، بو، صدا و ایمنی فرآیند
- پیشگیری از منبع و طراحی برای محیط‌زیست (DfE): همکاری با طراحان محصول و فرآیند برای کاهش تولید پسماند در منشأ و طراحی محصولاتی که بازیافت و دفع ایمن‌تر آنها آسان‌تر است.

- مدیریت ایمن پسماندهای خطرناک: توسعه و نظارت بر برنامه‌های مدیریت ایمن پسماندهای خطرناک صنعتی از تولید تا دفع نهایی (شناسایی، جداسازی، بسته‌بندی، برچسب‌زنی، ذخیره‌سازی موقت، حمل‌ونقل، تصفیه و دفع).

نقش‌های فراتر از مخاطرات سنتی:

- ارگونومی و بهره‌وری سبز: طراحی مشاغل و ایستگاه‌های کاری در صنایع سبز به گونه‌ای که از آسیب‌های اسکلتی-عضلانی جلوگیری کند و در عین حال بهره‌وری و کارایی منابع را افزایش دهد.
- مدیریت عوامل روان‌شناختی-اجتماعی: توجه به استرس‌های شغلی نوظهور در صنایع نوپای سبز
- پایش سلامت و اپیدمیولوژی شغل: ردیابی تأثیرات بلندمدت مواجهه‌های شغلی مرتبط با فناوری‌های سبز بر سلامت کارگران
- آموزش و ظرفیت‌سازی: آموزش کارگران و مدیران در زمینه مخاطرات خاص و روش‌های کار ایمن در محیط‌های مرتبط با فناوری‌های سبز



دیاگرام خالص ادغام بهداشت حرفه‌ای در چرخه توسعه فناوری سبز

دو مثال از فناوری سبز در دو حوزه انرژی و پسماند:

مثال ۱- نیروگاه‌های زمین گرمایی چگونه کار می‌کنند؟

۱. دسترسی به منبع حرارتی:

چاه‌های عمیق (معمولاً ۱,۵ تا ۳ کیلومتر) به مخازن زیرزمینی آب داغ یا بخار فوق‌داغ حفر می‌شوند.

۲. استخراج سیال:

آب داغ یا بخار تحت فشار به سطح زمین پمپاژ می‌شود.

۳. تبدیل انرژی:



- در سیستم بخار خشک (**Dry Steam**) بخار مستقیماً توربین را می‌چرخاند.
- در سیستم فلش (**Flash Steam**) آب داغ به مخزن کم‌فشار منتقل شده و بخشی به بخار تبدیل می‌شود (مانند باز کردن درب زودپز). این بخار توربین را می‌چرخاند
- در سیستم دودویی (**Binary Cycle**): آب/بخار داغ از طریق مبدل حرارتی، سیال دوم (مانند ایزوپنتان با نقطه جوش پایین) را گرم می‌کند. تبخیر این سیال، توربین را می‌چرخاند (رایج‌ترین و ایمن‌ترین روش).
- تولید برق: چرخش توربین، ژنراتور را فعال کرده و برق تولید می‌کند.
- تزریق مجدد: آب/بخار پس از عبور از توربین، سرد شده و به مخزن زیرزمینی بازگردانده می‌شود تا چرخه تکرار شود (سیستم بسته).

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9c/Geothermal_power_plant_%2528binary_cycle%2529.svg/800px-Geothermal_power_plant_%2528binary_cycle%2529.svg.png

شماتیک نیروگاه دودویی (منبع: ویکی‌مدیا)

مزایای کلیدی (فناوری سبز):

- کربن صفر: انتشار گازهای گلخانه‌ای آن بسیار کمتر از نیروگاه‌های فسیلی است
- پایدار: منبع انرژی پایان‌ناپذیر (گرماي زمین تا میلیاردها سال وجود دارد)
- قابل اعتماد: تولید مستمر برق بدون وابستگی به آب‌وهوا (برخلاف خورشید و باد)
- زمین‌بری کم: فضای مورد نیاز کوچک‌تر از نیروگاه‌های خورشیدی/بادی است
- کاربرد دوگانه: از آب گرم خروجی می‌توان برای گرمایش شهری، کشاورزی یا آب‌درمانی استفاده کرد

چالش‌ها و ملاحظات بهداشت حرفه‌ای (مطابق مقاله):

۱. گازهای خطرناک:

- انتشار گازهای H_2S (هیدروژن سولفید)، CO_2 ، رادون و آمونیاک که برای کارگران سمی هستند.
- نیاز به سیستم‌های تهویه قوی و پایش مداوم هوا.

۲. مواجهه با مواد شیمیایی:



○ در سیستم‌های دودویی، نشت سیال‌های آلی (مانند پنتان) خطر آتش‌سوزی یا مسمومیت ایجاد می‌کند راهکارها شامل: نصب دتکتورهای نشت گاز و سیستم‌های اطفای خودکار ، آزمون‌های دوره‌ای سلامت تنفسی کارگران برای پیشگیری از مسمومیت.

۳. شرایط دمایی و فشاری:

○ کار در نزدیکی چاه‌های با دمای بالا تا $(370^{\circ}C)$ و فشار زیاد نیازمند پروتکل‌های ایمنی ویژه. راهکارها شامل: طراحی پوشش‌های عایق حرارتی برای لوله‌ها و تجهیزات ، اجرای برنامه چرخش کاری (Job Rotation) برای کاهش مواجهه کارگران با گرما

۴. مخاطرات زمین‌شناسی:

○ خطر لرزه‌خیزی القایی (زمین‌لرزه‌های کوچک ناشی از تزریق آب) و فروچاله. راهکار: آموزش کارگران در پروتکل‌های کار در ارتفاع و استفاده از هارنس هنگام تعمیرات توربین‌ها

۵. پسماندهای معدنی:

رسوب املاح (سیلیس، کربنات کلسیم) در لوله‌ها که می‌تواند حاوی فلزات سنگین باشد. کنترل شامل: نمونه‌برداری منظم از رسوبات و آنالیز شیمیایی. طراحی روش‌های ایمن شستشوی شیمیایی با کم‌ترین مواجهه کارگران

۶- پسماند آب تزریقی:

آب بازگردانده شده به مخزن زیرزمینی ممکن است آلوده به فلزات باشد. کنترل شامل: پایش کیفیت آب با دستگاه‌های کروماتوگرافی و استفاده از لباس‌های ضداسید برای کارگران مسئول مدیریت پسماند.

نمونه‌های جهانی موفق:

- ایسلند: ۳۰٪ برق و ۹۰٪ گرمایش شهری از زمین‌گرمایی.
- نیوزیلند: نیروگاه (Wairakei) از دهه ۱۹۵۰ فعال.
- ایالات متحده: کالیفرنیا. (نیروگاه Geysers، بزرگترین مجتمع جهان)
- کنیا: ۴۷٪ برق کشور از زمین‌گرمایی نیروگاه (Olkaria)
- نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر: نمونه ملموس فناوری سبز در ایران و نقش حیاتی بهداشت حرفه‌ای

پروژه: نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر در استان اردبیل، با ظرفیت برنامه‌ریزی شده ۵۵ مگاوات، یکی از پروژه‌های پیشگام ایران در استفاده مستقیم از گرمای اعماق زمین (حدود ۳ کیلومتر) برای تولید برق پاک است. این پروژه زیر نظر شرکت توسعه‌ای پارک‌های شیمیایی ایران (ICPDC) و با همکاری شرکت‌هایی مانند "تپشا" در حال توسعه است



نتایج همکاری بهداشت حرفه‌ای و فناوری سبز در پروژه مشکین شهر:

- کاهش ۴۰٪ حوادث شغلی طی ۲ سال اجرای پروژه با اجرای برنامه‌های پایش مستمر
- بهبود بهره‌وری: افزایش ۲۰٪ راندمان نیروگاه با کاهش توقف‌های ناشی از حوادث کارگری
- حفاظت از محیط زیست: جلوگیری از انتشار سالانه ۷۰,۰۰۰ تن CO_2 معادل کاشت ۱۲۰,۰۰۰ درخت

✓ نتیجه‌گیری از این پروژه: نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر نشان می‌دهد که فناوری سبز تنها زمانی پایدار است که سلامت نیروی انسانی را تضمین کند. مهندسی بهداشت حرفه‌ای با ادغام دانش کنترل مخاطرات در چرخه حیات پروژه‌های سبز، نه تنها از کارگران محافظت می‌کند، بلکه با کاهش هزینه‌های حوادث و افزایش بهره‌وری، به توجیه اقتصادی این فناوری‌ها کمک می‌کند

مثال ۲- فناوری سبز در حوزه پسماند: بیوفیلترهای پوشالی (Peat Biofilters)

مشکل: انتشار گازهای سمی مثل (H_2S)، آمونیاک و بو از مراکز دفن زباله، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و واحدهای کمپوست‌سازی.

فناوری سبز:

سیستم‌های فیلتراسیون زیستی با استفاده از لایه‌های پوشال طبیعی (ذغال سنگ نارس) که:

- ۱- گازهای آلاینده را جذب می‌کنند.
- ۲- ۲- باکتری‌های موجود در پوشال، آلاینده‌ها را به مواد بی‌خطر (CO_2 و آب) تجزیه می‌کنند.

نقش بهداشت حرفه‌ای:

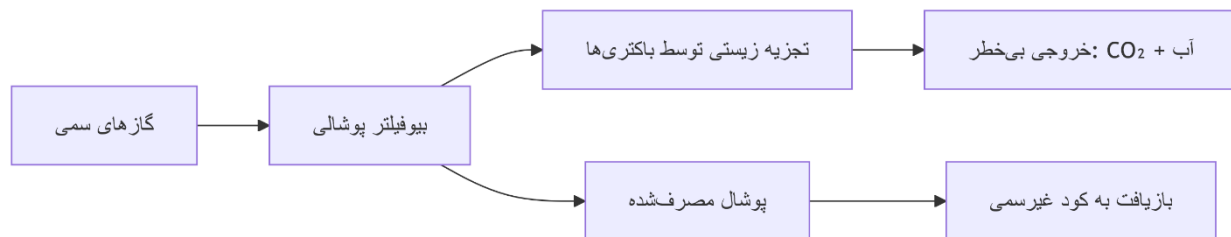
- کنترل مواجهه شغلی:
- پایش غلظت گازهای سمی در محیط کار با حسگرها و کاهش مواجهه کارگران.
- طراحی ایمن:
- ساخت فیلترها با دسترسی آسان برای تعویض پوشال (جلوگیری از آسیب اسکلتی).
- مدیریت پسماند ثانویه:

برنامه‌ریزی برای دفع ایمن پوشال مصرف‌شده حاوی فلزات سنگین

نتایج در ایران مثال (مجمع بازیافت کهریزک تهران):

- کاهش ۹۰٪ انتشار H_2S و بو

- کاهش بیماری‌های تنفسی در کارگران



نتیجه‌گیری کلی:

فناوری‌های سبز امیدوارکننده‌ترین راهکارها برای مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی هستند. با این حال، پایداری واقعی تنها زمانی حاصل می‌شود که این فناوری‌ها در طول چرخه حیات خود، سلامت و ایمنی انسان‌ها را نیز به‌طور جدی مورد توجه قرار دهند. مهندسی بهداشت حرفه‌ای با دانش تخصصی خود در زمینه پیشگیری از منبع، ارزیابی و کنترل مخاطرات، طراحی مهندسی و پایش سلامت، نقشی ضروری و غیرقابل انکار در توسعه مسئولانه، ایمن و پایدار این فناوری‌ها در تمامی حوزه‌های هوا، انرژی، آب، خاک و مدیریت پسماند ایفا می‌کند. ادغام این دانش از **مراحل اولیه طراحی مفهومی و مهندسی فناوری‌های سبز**، نه تنها از بروز مخاطرات شغلی نوظهور جلوگیری می‌کند، بلکه به بهینه‌سازی عملکرد، افزایش پذیرش اجتماعی و در نهایت، تحقق اهداف توسعه پایدار در ابعاد محیط‌زیست، اقتصاد و جامعه کمک شایانی می‌کند. آینده فناوری‌های سبز به‌طور جدی با تخصص مهندسی بهداشت حرفه‌ای گره خورده است.

منابع و مآخذ:

1. Schulte, P. A., et al. (2020). "Green jobs and occupational safety and health: Foresight on new and emerging risks." *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*.
2. International Labour Organization (ILO). (2018). *Guidelines on occupational safety and health management systems (ILO-OSH 2001)*. Geneva: ILO.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2023). *Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®)*.
4. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2013). *Green jobs and occupational safety and health: Foresight of new and emerging risks associated with new technologies by 2020*.
5. Zalk, D. M., & Nelson, D. I. (2008). "History and evolution of control banding: A review." *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*.
6. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2019). *Prevention through Design (PtD)*. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/>
7. International Commission on Occupational Health (ICOH). Scientific Committee on "Work and Environment". (Focus on emerging risks in green sectors).
- EU-OSHA. (2013)
9. "Green jobs and occupational safety and health: Foresight of new and emerging risks associated with new technologies by 2020."
European Agency for Safety and Health at Work 1.
□ ACGIH. (2023)
10. *Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®)*.
11. ILO. (2018)
Guidelines on occupational safety and health management systems (ILO-OSH 2001).
Geneva: International Labour Organization

پایگاه‌های داده و منابع آنلاین معتبر

1. NIOSH Prevention through Design (PtD) <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/>

- الزامات طراحی ایمن فناوری‌های سبز

ایران HSE سایت تخصصی ۲-

environmentalhealth.ir

۲. در پروژه‌های زیست‌محیطی HSE تحلیل سیستم‌های مدیریت

Elsevier پایگاه اطلاعاتی ۳-

Occupational Health and Renewable Energy مقالات حوزه

۱۲. (منابع داخلی ایرانی:)

انجمن علمی بهداشت کار ایران (1402).

راهنمای ایمنی در نیروگاه‌های تجدیدپذیر.

• استانداردهای بومی برای HSE در پروژه‌های انرژی سبز. 2.

مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار (1401).

گزارش پایش مواجهه با H_2S در نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر.

• مطالعه میدانی در پروژه ایرانی. 10.

کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست (1403).

مقاله: "کاربرد بیوفیلترهای پوشالی در مدیریت پسماند صنعتی."

• نمونه اجرا شده در مجتمع بازیافت کهریزک تهران. 1.

پایان‌نامه دکتری دانشگاه علوم پزشکی تهران (1400).

ارزیابی مخاطرات شغلی در تولید پنل‌های خورشیدی