EMS

پاسخ پیش بیمارستانی به حوادث خودروهای برقی و هیبریدی

HEV- PHEV - BEV

سازمان اورژانس کشور

مرکز تحقیقات اورژانس پیش بیمارستانی

فهرست

پیشگفتار 3

انواع خودرو های برقی 3

تفاوت‌های فنی و پیامدهای احتمالی 4

شناسایی علائم خطر 4

الزامات در صحنه حادثه 5

مدیریت پیامدهای آتش‌سوزی و سوختگی باتری 5

نفوذ آب و گرفتار شدن خودروهای برقی در سیل 6

مواجهه با گازهای سمی در آتش سوزی 6

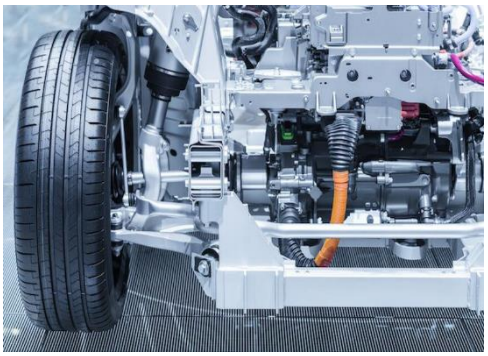
پروتکل آفلاین مواجهه با بیماران دچار سوختگی در پیش بیمارستان 8

پیشگفتار

در دهه‌ی اخیر، سهم خودروهای برقی و هیبریدی در ترافیک جهانی به‌طور چشمگیری افزایش یافته و کیلومترهای پیموده‌شده توسط این وسایل نقلیه به میلیاردها کیلومتر نزدیک شده است. این روند، الگوهای ریسک و نیازهای امدادی را تغییر داده است. همزمان با پیشرفت فناوری، خودروهای برقی مجهز به باتری‌های لیتیوم-یون با چگالی انرژی بالاتر، سیستم‌های مدیریت باتری پیشرفته و سامانه‌های کمک‌راننده گسترده شده‌اند. این پیشرفت‌ها مزایای ایمنی و کارایی دارند اما خطرات ویژه‌ای نیز ایجاد می‌کنند؛ از جمله ولتاژهای بالا، آسیب سلول‌های باتری، تولید گازهای سمی و آتش‌سوزی‌هایی که روش اطفای آن‌ها متفاوت است.

افزایش حوادث مرتبط با خودروهای برقی، ضرورت تدوین دستورالعمل‌های عملی و آموزش ویژه پرسنل اورژانس را برجسته می‌کند. این آموزش‌ها شامل شناسایی خودروهای برقی، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، آگاهی از نقاط قطع اضطراری و درک پیامدهای سوختگی‌های شیمیایی و مسمومیت‌های ناشی از گازها است.

انواع خودرو های برقی



خودروهای برقی معمولا به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند**HEV** :، **PHEV**و **BEV** که هرکدام شیوه متفاوتی برای استفاده از موتور و باتری دارند.

HEV – (Hybrid Electric Vehicle) خودروی هیبریدی

این خودرو ترکیبی از موتور بنزینی و موتور برقی است. باتری آن کوچک‌تر بوده و نیازی به شارژ از پریز ندارد؛ انرژی باتری از طریق کار موتور و بازیابی انرژی ترمز تأمین می‌شود. در واقع موتور برقی بیشتر نقش کمک‌کننده دارد تا مصرف سوخت کمتر شود.

PHEV – (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) هیبریدی قابل شارژ

این خودرو شبیه هیبریدی معمولی است اما باتری بزرگ‌تری دارد و می‌توان آن را به برق خانگی یا ایستگاه شارژ وصل کرد. برای مسافت‌های کوتاه می‌تواند کاملاً برقی حرکت کند و در سفرهای طولانی‌تر موتور بنزینی وارد عمل می‌شود. به همین دلیل ترکیبی از مزایای خودرو برقی و بنزینی را دارد.

BEV – (Battery Electric Vehicle) خودروی تمام‌برقی

این خودرو هیچ موتور بنزینی ندارد و تنها با باتری کار می‌کند. باتری آن بزرگ است و باید به شارژر یا ایستگاه شارژ وصل شود. تمام نیروی محرکه از موتورهای برقی تأمین می‌شود و در حرکت هیچ آلایندگی تولید نمی‌کند.

تفاوت‌های فنی و پیامدهای احتمالی

خودروهای برقی و هیبریدی به دلیل استفاده از باتری‌های ولتاژ بالا (High Voltage) ویژگی‌های فنی خاصی دارند که در حوادث می‌تواند پیامدهای بالینی جدی برای مصدومین و حتی امدادگران ایجاد کند. این باتری‌ها معمولاً بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ ولت جریان مستقیم (DC) تولید می‌کنند و هرگونه تماس مستقیم یا غیرمستقیم با سلول‌ها یا کابل‌های نارنجی‌رنگ می‌تواند منجر به شوک الکتریکی شدید و تهدیدکننده حیات شود. بنابراین شناخت مسیر کابل‌ها و نقاط برش ایمن در خودرو اهمیت حیاتی دارد. همچنین آسیب به سلول‌های آن‌ها می‌تواند خطر شوک الکتریکی یا بروز پدیده‌ای به نام Thermal Runaway را در پی داشته باشد. Thermal Runaway یک واکنش زنجیره‌ای درون سلول‌های باتری است که بدون هشدار قبلی رخ می‌دهد و منجر به آتش‌سوزی بسیار داغ، انتشار گازهای سمی (HCN،CO ،HF) حتی احتمال شعله‌ور شدن مجدد تا ۲۴ ساعت پس از حادثه می‌شود. به همین دلیل، مدیریت صحنه و مراقبت از مصدومین نیازمند آگاهی دقیق از این تفاوت‌های فنی است.

شناسایی علائم خطر

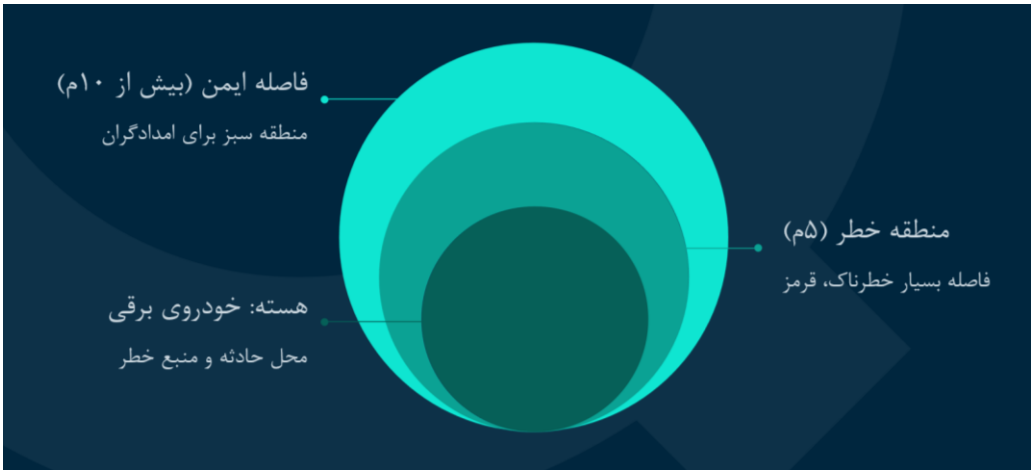
بسیار مهم است که بتوان در همان لحظات اولیه تشخیص برای اینکه آیا خودروی حادثه‌دیده برقی یا هیبریدی است انجام شود. نشانه‌های ساده‌ای وجود دارد که کمک می‌کند این خودروها از خودروهای معمولی قابل تفکیک باشند؛ مانند وجود کابل‌های نارنجی‌رنگ در بخش‌های مختلف خودرو، نمایشگرهای مخصوص وضعیت باتری روی داشبورد، وجود درگاه شارژ در بدنه خودرو، یا وجود نشانه هایی روی بده خودرو مانند: Electric، Hybrid، Plug-in، EV، Fuel Cell روی بدنه یا توجه به برند هایی که فقط خودروی برقی تولید می کنند مانند Tesla، Rivian و Lucid

پس از تشخیص نوع خودرو، باید به علائم هشداردهنده‌ای توجه ویژه داشت که نشان‌دهنده خطر فوری هستند. شنیدن صدای «فیس» یا سوت ناشی از تخلیه گاز، مشاهده دود سفید یا بوی شیمیایی به‌ویژه از بخش‌هایی که باتری معمولاً در آن قرار دارد (زیر صندلی‌ها یا کف خودرو)، آسیب شدید و تغییر حالت کف خودرو، دیدن جرقه یا نشت مایع و شروع آتش‌سوزی از جمله نشانه‌های جدی خطر محسوب می‌شوند. در چنین شرایطی حتی لمس بدنه خودرو می‌تواند خطرناک باشد، زیرا احتمال وجود جریان برق در بخش‌های فلزی وجود دارد. اگر شرایط اجازه می‌دهد و هنوز فرصت هست، باید کلید اضطراری قطع برق (Service Disconnect / Emergency Shut-off)را پیدا و فعال کنید؛ این کلید معمولاً در صندوق عقب، زیر صندلی

یا کنار باتری قرار دارد و می‌تواند جریان ولتاژ بالا را متوقف کند. توجه به این علائم و اقدامات اولیه، پایه اصلی ایمن‌سازی صحنه است.

الزامات در صحنه حادثه

در مواجهه با خودروهای برقی باید توجه شود که هم ایمنی تیم امدادی حفظ شود و هم امکان نجات سریع مصدومین فراهم گردد. نخستین اقدام، **ایمن‌سازی صحنه** است؛ یعنی فاصله‌گذاری مناسب از خودرو، جلوگیری از تجمع افراد غیرمرتبط و مشخص کردن مناطق خطر به‌صورت دایره‌ای: منطقه داغ در شعاع کمتر از ۵ متر که بسیار خطرناک است، منطقه گرم بین ۵ تا ۱۰ متر که همچنان ریسک بالایی دارد، و منطقه سرد در فاصله بیش از ۱۰ متر که برای استقرار پرسنل ایمن‌تر محسوب می‌شود.



به دلیل عدم وجود **تجهیزات حفاظت فردی ویژه (PPE)** ورود به منطقه گرم و داغ برای کارکنان امدادی و همچنین سایر حاضرین در صحنه می تواند خطرناک باشد. به یاد داشته باشید در تمام مراحل پس از ورود به صحنه، باید از لمس کابل‌های نارنجی‌رنگ که نشان‌دهنده مدارهای ولتاژ بالا هستند خودداری شود، زیرا تماس با آن‌ها می‌تواند خطر جدی ایجاد کند.

یکی دیگر از اقدامات نادرست در صحنه های حوادث خودرو های برقی، واژگونی یا نگه داشتن خودرو به صورت خوابیده به پهلو بوده که می‌تواند باعث یک انفجار شود که به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود. این مجموعه اقدامات، چارچوب اصلی ایمنی صحنه را برای پرسنل فوریت‌های پزشکی فراهم می‌کند و پایه‌ای برای ادامه عملیات نجات و درمان مصدومین خواهد بود.

مدیریت پیامدهای آتش‌سوزی و سوختگی باتری

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در حوادث خودروهای برقی، رفتار غیرقابل پیش‌بینی باتری‌های لیتیوم‌یون پس از آسیب یا آتش‌سوزی است. حتی پس از خاموش شدن شعله‌ها، خطر **شعله‌ور شدن مجدد تا ۲۴ ساعت** به‌دلیل پدیده Thermal Runaway وجود دارد؛ بنابراین صحنه باید برای مدت طولانی تحت نظارت باشد و پرسنل امدادی حداقل در فاصله **۱۵ تا ۲۰ متر** از خودرو باقی بمانند. علاوه بر این، امکان وقوع انفجار ناگهانی شعله داغ (Jet Flame) یا پرتاب سلول‌های باتری وجود دارد که می‌تواند آسیب‌های جدی ایجاد کند. در کنار این خطرات، تماس مستقیم با الکترولیت باتری نیز بسیار خطرناک است؛ این ماده قلیایی و خورنده بوده و می‌تواند سوختگی‌های شدید شیمیایی ایجاد کند. در چنین مواردی، درمان اولیه شامل **شستشوی فوری و مداوم محل تماس با آب تمیز یا سرم نرمال سالین به‌مدت حداقل ۲۰ دقیقه و ترجیحاً تا ۳۰–۶۰ دقیقه** است. پس از

این اقدام، ادامه درمان باید طبق پروتکل‌های استاندارد سوختگی شیمیایی انجام شود. رعایت این اصول نه‌تنها جان مصدومین را حفظ می‌کند بلکه از آسیب‌های ثانویه به پرسنل اورژانس نیز جلوگیری خواهد کرد.

نفوذ آب و گرفتار شدن خودروهای برقی در سیل

یکی از شرایط پرخطر برای خودروهای برقی و هیبریدی، **نفوذ آب به باتری یا اجزای الکتریکی** در جریان سیل یا آب‌گرفتگی شدید است. هرچند بسیاری از خودروهای برقی با استانداردهای ایمنی ضدآب طراحی شده‌اند و تا حدی در برابر باران یا شست‌وشوی معمول مقاوم هستند، اما قرار گرفتن طولانی‌مدت در آب عمیق می‌تواند خطرات جدی ایجاد کند.

هنگامی که خودرو در سیل گرفتار می‌شود، احتمال **نفوذ آب به محفظه باتری** وجود دارد. این نفوذ می‌تواند باعث اتصال کوتاه، تخلیه ناگهانی انرژی و حتی آغاز پدیده **Thermal Runaway**شود. علاوه بر این، تماس آب با اجزای ولتاژ بالا ممکن است خطر **شوک الکتریکی** برای سرنشینان یا امدادگران ایجاد کند.

از نظر عملیاتی، پرسنل فوریت‌های پزشکی باید خودروهای گرفتار در آب را به‌عنوان **منبع بالقوه خطر الکتریکی** در نظر بگیرند. لمس بدنه یا تلاش برای باز کردن درها بدون تجهیزات حفاظت فردی می‌تواند خطرناک باشد. در چنین شرایطی، اولویت اصلی **ایمن‌سازی محیط**، جلوگیری از نزدیک شدن افراد غیرمرتبط و فراخوان نیروهای تخصصی (آتش‌نشانی و پلیس) است. به یاد داشته باشید که خودروهای غرق شده پس از خارج سازی و تخلیه آب هم می تواند خطرناک باشد.

مواجهه با گازهای سمی در آتش سوزی

در حوادث خودروهای برقی، یکی از خطرات جدی انتشار گازهای سمی ناشی از تخریب یا آتش‌سوزی باتری‌های لیتیوم‌یون است. این گازها می‌توانند به سرعت وارد دستگاه تنفسی شوند و آسیب‌های شدید و حتی تهدیدکننده حیات ایجاد کنند. به همین دلیل، اقدام فوری در صحنه شامل تجویز اکسیژن ۱۰۰٪ با ماسک(Non-rebreather) با فلو ۱۲–۱۵ لیتر در دقیقه و سپس انتقال سریع بیمار است. در این بیماران آماده سازی تجهیزات باز کردن راه هوایی پیشرفته و مطمئن پیشنهاد می شود

گازهای اصلی و اثرات آن‌ها

- **HF هیدروفلوریک اسید گازی:** به صورت گاز یکی از خطرناک‌ترین ترکیبات شیمیایی است که هم خاصیت خورندگی شدید دارد و هم اثرات سمی سیستمیک ایجاد می‌کند. این ماده پس از تماس با بدن، برخلاف بسیاری از اسیدها، تنها به سطح پوست یا مخاط محدود نمی‌ماند بلکه به سرعت در عمق بافت نفوذ کرده و می‌تواند استخوان و بافت‌های زیرین را تخریب کند. استنشاق بخار یا گاز آن باعث سوختگی شدید در مجاری تنفسی، التهاب ریه و در موارد جدی‌تر ادم ریوی می‌شود. علاوه بر آسیب‌های موضعی، یون فلوراید موجود در این ترکیب با کلسیم و منیزیم خون پیوند می‌گیرد و منجر به اختلالات الکترولیتی خطرناک مانند هیپوکلسمی و هیپومنیزمی می‌شود؛ این تغییرات می‌توانند آریتمی‌های قلبی و حتی ایست قلبی ایجاد کنند. علائم بالینی مواجهه با HF ممکن است شامل درد شدید، سرفه، تنگی نفس، اسپاسم عضلانی و در مراحل پیشرفته اختلال هوشیاری باشد. نکته مهم این است که حتی مقادیر کم این گاز می‌تواند کشنده باشد.

درمان های پزشکی:

- انتقال به منطقه امن و اکسیژن ۱۰۰٪ با فلوی بالا از طریق ماسک بگ‌دار
- خارج نمودن لباس آلوده، شستشوی پوست و چشم با آب فراوان با در نظر رفتن پیشگیری از هیپوترمی

- کلسیم گلوکونات: ژل برای موارد موضعی، نبولایزر برای موارد استنشاقی، تزریق زیرجلدی موضعی یا داخل وریدی در موارد شدید
- مانیتورینگ قلبی
- آمادگی برای اینتوباسیون سریع با لوله سایز بزرگ

- **CO کربن مونوکسید:** گازی بی‌رنگ و بی‌بو که با هموگلوبین ترکیب شده و مانع انتقال اکسیژن در خون می‌شود؛ منجر به هیپوکسی و آسیب مغزی یا قلبی.

درمان های پزشکی:

- انتقال به منطقه امن و اکسیژن ۱۰۰٪ با ماسک بگ‌دار
- توجه به باز بودن راه هوایی
- مانیتورینگ قلبی و نورولوژیک برای تشخیص آریتمی یا ادم مغزی
- اکسیژن پرفشار (Hyperbaric Oxygen Therapy) در موارد شدید: سطح کربوکسی‌هموگلوبین بیش از ۲۵–۳۰٪، افت هوشیاری، علائم نورولوژیک، یا در زنان باردار حتی با سطح پایین‌تر
- درمان حمایتی شامل مدیریت فشارخون و پایش ارگان‌های حیاتی

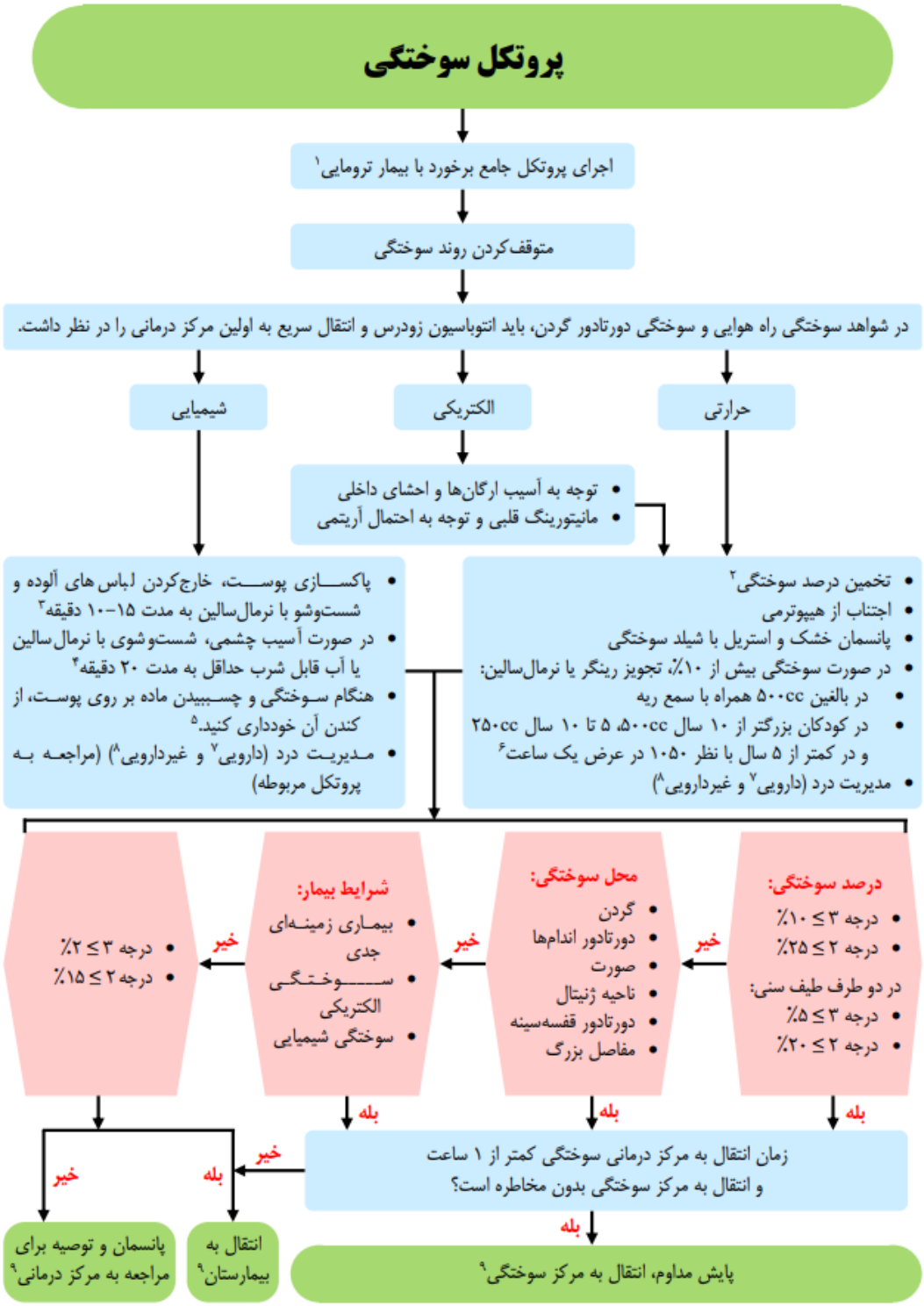
- **HCNهیدروژن سیانید:** گازی بی‌رنگ، بسیار سمی و با بوی مشخص بادام تلخ است که به‌سرعت از راه تنفس وارد بدن می‌شود. این ماده با مهار آنزیم‌های حیاتی در زنجیره تنفسی سلولی، به‌ویژه سیتوکروم اکسیداز، مانع استفاده سلول‌ها از اکسیژن می‌گردد. در نتیجه، حتی اگر اکسیژن در خون وجود داشته باشد، سلول‌ها قادر به مصرف آن نیستند و حالتی شبیه به خفگی داخلی ایجاد می‌شود. این مکانیسم باعث می‌شود HCN در مدت کوتاهی اثرات شدید و کشنده بر بدن بگذارد. استنشاق مقادیر کم این گاز می‌تواند علائمی مانند سردرد، گیجی، تهوع، اضطراب و تنگی نفس ایجاد کند، در حالی که مواجهه با غلظت‌های بالاتر به سرعت منجر به بی‌هوشی، تشنج، اختلالات قلبی و در نهایت ایست قلبی می‌شود. یکی از ویژگی‌های خطرناک HCN سرعت بالای اثرگذاری آن است؛ به‌گونه‌ای که فرد ممکن است در عرض چند دقیقه توانایی حرکت و هوشیاری خود را از دست بدهد. از نظر بالینی، تماس با هیدروژن سیانید می‌تواند باعث هیپوکسی بافتی شدید شود، زیرا اکسیژن موجود در خون بلااستفاده باقی می‌ماند. این وضعیت به‌ویژه برای مغز و قلب که بیشترین نیاز به اکسیژن دارند، بسیار خطرناک است. در موارد مواجهه حاد، مرگ ممکن است در مدت کوتاهی رخ دهد. به دلیل همین ویژگی‌ها، HCN در تاریخ به‌عنوان یکی از گازهای کشنده شناخته شده و در صنایع شیمیایی نیز با نهایت احتیاط باید مورد استفاده قرار گیرد. اقدامات حفاظتی شامل تهویه مناسب، استفاده از ماسک‌های فیلتردار ویژه و سیستم‌های هشداردهنده نشت گاز ضروری است. درمان فوری در موارد مسمومیت شامل تجویز آنتی‌دوت‌های اختصاصی مانند نیتریت‌ها و تیوسولفات سدیم است که تیم های تخصصی پزشکی در بیارستان تجویز می‌کند.

درمان های پزشکی:

- انتقال به منطقه امن و اکسیژن ۱۰۰٪ با فلوی بالا از طریق ماسک بگ‌دار
- در نظر داشتن آنتی‌دوت اختصاصی: هیدروکوبالامین (Cyanokit) داخل وریدی؛ درمان انتخابی و ایمن حتی در بیماران با استنشاق دود
- در نظر داشتن سدیم تیوسولفات به‌عنوان درمان کمکی برای افزایش دفع سیانید
- سدیم نیتریت در صورت عدم دسترسی به هیدروکوبالامین، با احتیاط (به‌ویژه در بیماران با مسمومیت همزمان CO).

- مانیتورینگ قلبی و نورولوژیک
- پایش لاکتات خون به‌عنوان شاخص شدت مسمومیت

پروتکل آفلاین مواجهه با بیماران دچار سوختگی در پیش بیمارستان

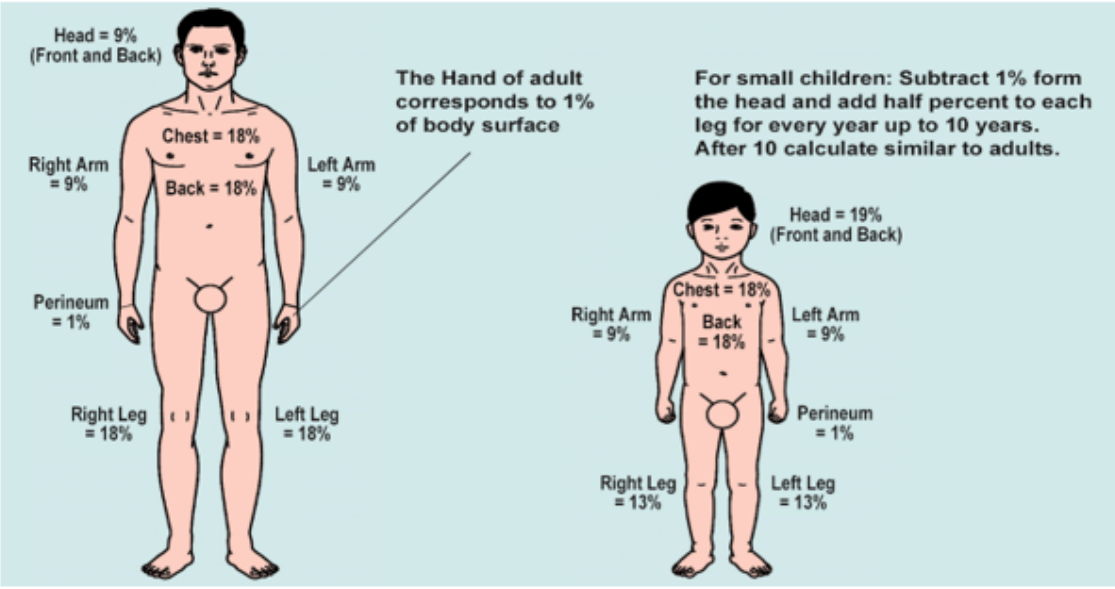


۱. توجه به ایمنی صحنه شامل قطع برق، PPE مناسب برای حوادث شیمیایی و ...
۲. تخمین درصد سوختگی با استفاده از قانون ۹ها یا کف دست (۱٪)، بر اساس سوختگی درجه ۲ و بالاتر صورت می‌گیرد. برای سوختگی بیش از ۲۰ درصد از سطح کل بدن، کل سطح بدن سوخته شده را به نزدیکترین مضرب از ۱۰ درصد تخمین بزنید.
۳. در صورت جامدبودن ماده شیمیایی، قبل از شست‌وشوی محل، باید ماده خارجی تا حد امکان با وسیله مناسب مانند برس پاکسلزی شود.
۴. شست‌وشوی چشم باید از گوشه داخلی چشم به سمت خارج صورت گیرد.
۵. برای برداشتن تکه‌های قیر چسبیده به پوست بیمار از کره یا پماد سوختگی استفاده شود (به هیچ عنوان تکه‌های قیر با دست یا سایر وسایل کنده نشود).
۶. در صورت وجود علایم شوک، نرمال‌سالین / رینگرلاکتات در بزرگسالان ۲-۱ لیتر با سمع ریه از نظر بروز یا تشدید رال و در کودکان ۲۰ ml/kg (تکرار تا ۳ مرتبه در صورت ادامه شوک). در مواردی که زمان انتقال بیش از یک ساعت می‌باشد، با توجه به فرمول پارکلند و مشاوره پزشکی، میزان مایع مورد نیاز تعیین گردد. در ساعت اول برای بزرگسالان با وزن ۴۰ تا ۸۰ کیلوگرم، مایعات وریدی را به شرح زیر بدهید: ۱۰ میلی لیتر × درصد کل سطح بدن سوخته در هر ساعت. به ازای هر ۱۰ کیلوگرم وزن بیمار بالای ۸۰ کیلوگرم، ۱۰۰ میلی لیتر مایع دیگر در ساعت اضافه کنید
۷. کنترل دارویی درد: کتورولاک ۳۰ mg عضلانی یا استامینوفن تزریقی ۱ gr انفوزیون در ۱۰۰ ml نرمال سالین (بالغین) در مدت زمان ۱۵ دقیقه/ سولفات مورفین صرفاً با نظر پزشک مشاور (مراجعه به پروتکل مربوطه).
۸. کنترل غیردارویی درد: بی‌حرکت‌سازی، پانسمان و خنک‌کردن.
۹. با توجه به احتمال گیر افتادن زیورآلات به دنبال ادم اندام در ساعات بعد، در اولین فرصت زیور آلات خارج شده و صورتجلسه گردد.

نکته ۱: از پاره‌کردن تاول‌ها خودداری گردد.

نکته ۲: از استفاده از پمادهای سوختگی و بتادین در محل سوختگی اجتناب گردد و در صورت سوختگی با مواد شیمیایی که احتمال واکنش با آب دارند مثل فسفر داغ و آهک، از ریختن آب اجتناب گردد.

نکته ۳: در صورت وجود شواهد سوختگی استنشاقی (سوختگی موهای بینی، خلط دودی، خشونت صدا، سوختگی دهان، بینی و اطراف آن‌ها، قرارگرفتن در معرض دود یا حرارت در محیط بسته) و سوختگی دور تا دور گردن، شنیدن استریدور یا ویزینگ لوله‌گذاری زودرس را درنظر داشته باشید.



توجه به این نکته ضروری است که هرگونه سوختگی در صحنه خودروی برقی/هیبریدی، می بایست سوختگی شیمیایی و یا ترکیبی از سوختگی حرارتی و شیمیایی در نظر گرفته شده و مصدوم به مرکزی منتقل شود که مدیریت مسمومیت و سوختگی را انجام دهد.