

## فصل ۵

# تامین ایمنی

## مترجم: دکتر حمیدرضا اشرفی از انجمن مهندسين عمران ايران

(\*)

«کشتی ها در بندرگاه ایمن اند، ولی آنها برای این ساخته نشده اند که در بندرگاه بایستند»

((جان اشد))

خلبان «دان گلرت» با یک هواپیمای L-۱۰۱۱ شرکت لاکهید شرقی، در ارتفاع ۱۰ هزارپایی در حال گشت زدن در آسمان بود. در این هنگام بدون آنکه وی تقصیری داشته باشد برنامه پروازی اش به یکباره مختل شد. (۱) در حالی وی که هدایت هواپیما را در حالت اتوماتیک قرار داده بود به یکباره تصمیم گرفت که ارتفاع هواپیما از سطح زمین را افزایش دهد. هنگام انجام این کار، بدنش با اهرم کنترل برخورد کرد. این امر نباید مشکلی ایجاد می کرد، ولی به یکباره هواپیما در آسمان به صورتی تند شیرجه زد، و موجب ترس ۲۳۰ سرنشین هواپیما شد. وی که به شدت تکان خورده بود قادر به در دست گرفتن اهرم کنترل و تامین مجدد ایمنی هواپیما و سلامت و آسایش سرنشینان آن نبود، لذا ارتفاع هواپیما باز هم کمتر می شد. در این حال ارتفاع سنج ارتفاع ۱۰ هزارپایی را نشان می داد.

کمی قبل از وقوع این حادثه، یکی از همکاران گلرت در یک پرواز آموزشی، در حالی که از هدایت اتوماتیک استفاده نمی کرد و مربی نیز حضور نداشت، هواپیمایش در هنگام نشستن با هدایت اتوماتیک با زمین برخورد کرد. خوشبختانه همه این موارد در یک پرواز شبیه سازی شده رخ داد. ولی فقط مدت زمان کمی از این واقعه گذشته بود که هواپیمای L-۱۰۱۱ خط هوایی شرقی هنگام نشستن به طور واقعی با زمین برخورد کرد. در پرواز اخیر، به نظر می رسد که در اهرم ویژه نشستن هواپیما بر روی زمین مشکلی پیش آمده بود، در نتیجه هواپیما از طریق ناوبری اتوماتیک در ارتفاع ۲۰۰۰ پایی نگهداشته شد و در عین حال خدمه پرواز برای یافتن مشکل و رفع آن تلاش می کردند. چهار دقیقه بعد، در حالی که ارتفاع هواپیما بدون اخطار قبلی مرتباً کاهش می یافت و خدمه پرواز آشفته وار به دنبال حل مشکل بودند، هواپیما در ناحیه «اورگلیدز» به زمین خورد و بر اثر آن ۱۰۳ نفر کشته شدند. یک سال بعد، گلرت مجدداً در حال پرواز با یک هواپیمای L-۱۰۱۱ بود. وی سیستم هدایت اتوماتیک هواپیما را از کار انداخته بود در حالی که نمی باید چنین کاری میکرد. هواپیما در ارتفاع مفروض ۵۰۰ پایی بود و به آرامی در حال کم کردن ارتفاع داشت. خلبان می باید از حداکثر توان هواپیما برای ارتفاع گرفتن از سطح زمین استفاده می کرد تا بتواند پرواز را به سلامت به پایان برساند.

سوانح هوپماهای ۱۰۱۱-L به ما خاطرنشان می سازند که دستگاههای و نیز سیستم های کنترل و پیچیده ای که ما با آنها سروکار داریم می توانند آسیب پذیری داشته باشند، و بر اثر شرایط محیطی پیش بینی نشده عملکرد آنها دچار اختلال شود. لذا در مسائلی که به ایمنی و سلامت بشر ارتباط دارد باید تاثیرات متقابل انسان و ماشین را به خوبی و به گونه ای واقع گرایانه طراحی کنیم. در این فصل، ما در مورد نقش ایمنی، چه از نظر جامعه و چه از نظر مهندسان، بحث خواهیم کرد. به طور متعارف، چندین گروه از مردم و هر گروه بسته به علائق و وابستگی های خود، به مقوله ایمنی ارتباط نزدیکی پیدا می کنند. با توجه به اینکه در هر یک از این گروهها عقاید متفاوتی در مورد اینکه « ایمنی چیست و محدوده آن کدام است» وجود دارد، لذا بدیهی است که واژه «ایمنی» و نیز واژه «خطرپذیری» را نمی توان به صورتی روشن تعریف کرد. در ادامه، پس از نگاهی به مفاهیم پایه ای در این زمینه، به نحوه ارزیابی ایمنی و خطرپذیری و روشهای کاهش خطرپذیری می پردازیم در انتهای بحث، هنگام بررسی سوانح نیروگاه هسته ای «جزیره سه مایلی» و «چرنوبیل»، به این نکته اشاره خواهیم کرد که از سویی سیستم های مهندسی به گونه ای افزون پیچیده تر می شود و از سوی دیگر در نهایت ما به یک زندگی ایمن نیاز داریم.

## ۵-۱-۱- ایمنی و ریسک

ما هیچگاه آرزو نمی کنیم که بر اثر سوانح بالقوه دچار صدمه و خسارت شویم، لذا همواره خواستار محصولات و خدمات ایمن هستیم از سوی دیگر به این واقعیت نیز آگاهیم که دستیابی به این ایمنی هزینه بر است. در موضوعات پیچیده، آنچه که برای یک شخص ایمن است ممکن است برای فرد دیگری ایمن نباشد. این امر می تواند یا ناشی از تفاوت درک و دیدگاه افراد یا به علت تفاوت استعداد و پتانسیل آنها برای صدمه خوردن باشد. ایمنی یک دستگاه اهر برقی در دستان یک کودک با یک بزرگسال متفاوت است. تاثیرات بیماری زایی آلودگی هوا بر روی یک فرد بزرگسال بیمار بیشتر از یک فرد بزرگسال سالم است. ایمنی مطلق، خواه به این صورت تعریف شود که «فعالیتها و محصولات کاملاً عاری از خطر باشند» خواه به این صورت که «درجه ای از ایمنی است که رضایت تمام افراد و گروههای مربوط را فراهم آورد»، نه دست یافتنی است نه قابل تامین. با این وجود، نکته مهم آن است که به نگرشی دست یابیم که براساس آن بدانیم منظور ما از ایمنی چیست.

## ۵-۱-۱- مفهوم ایمنی

یکی از روشهای تعریف ایمنی مبتنی بر آن است که آن را به صورت آن میزان از خطرپذیری که از نظر یک فرد قابل پذیرش است در نظر بگیریم. یکی از اینگونه تعاریف را ویلیام ولورنس ارائه کرده است: «ایمن آن است که میزان خطرپذیری آن را به عنوان قابل قبول مورد قضاوت قرار دهیم»<sup>(2)</sup> این روش براساس تاکید بر قضاوت در مورد ایمنی به گونه ای است که به صورت ضمنی مقداری عددی را به میزان خطر پذیری از نظر یک فرد یا گروه اختصاص دهیم. بنابر این همانگونه که به وضوح مشاهده می شود، به دلیل تفاوت بین مقادیر مزبور، به ارزیابی های متفاوتی در مورد ایمنی خواهیم رسید.

با این وجود از آنجا که تعریف لورنس از درک عمومی از ایمنی بسیار دور است، لذا ضرورت دارد تعریف وی اصلاح شود. این امر را می توان با بررسی سه وضعیت مختلف بررسی کرد. به عنوان وضعیت اول، حالتی را در نظر می گیریم که خطرپذیری برخی از چیزها را دست پایین برآورد کرده باشیم. مثلاً فرض کنید که یک توستر را

۲

که فکر می کنیم دارای ایمنی کافی است، در یک حراجی خریداری کرده باشیم. سپس آن را به منزل برده و بر اثر استفاده از آن دچار برق گرفتگی یا سوختگی شده و روانه بیمارستان شده ایم. احساس متعارف از ایمنی این است که قضاوت اولیه ما از ایمنی اشتباه بوده است: این توستر به هیچ وجه ایمن نبوده است! علی رغم مقدار پرداختی و نیاز ما، خطرپذیری وسیله مزبور را از ابتدا نمی توان قابل قبول ارزیابی کرد. ولی، طبق تعریف لورنس، ما مجبوریم بگوییم که قبل از بروز حادثه، وسیله مزبور کاملاً ایمن بوده است زیرا در آن زمان قضاوت ما این بوده است که خطرپذیری آن قابل قبول است.

به عنوان وضعیت دوم حالتی را در نظر می گیریم که برآورد ناخالص ما از خطرپذیری برخی از چیزها دست بالا است. به عنوان مثال، ما به گونه ای نامعقول فکر می کنیم که وجود فلوراید در آب آشامیدنی موجب کشته شدن یک پنجم جمعیت می شود. مطابق تعریف لورنس، آب حاوی فلوراید نایمن است، زیرا قضاوت ما این است که خطرپذیری آن غیرقابل قبول است. علاوه بر آن، این امکان برای دیگران وجود ندارد که با استدلال به ما ثابت کنند که آب مورد نظر واقعاً ایمن است. در اینجا بازم، مطابق با تعریف لورنس، آب مورد نظر در زمان بررسی آن نایمن، و خطرپذیری استفاده از آن برای ما غیر قابل قبول است.

سومین وضعیت آن است که یک گروه هیچگونه قضاوتی در مورد خطرپذیری یک چیز، اعم از قابل قبول یا غیرقابل قبول نمی کند، و یا اعضای گروه اصلاً درباره این موضوع فکر نمی کنند. معنای این امر آن است که طبق تعریف لورنس، آن چیز از نظر گروه مزبور نه ایمن و نه نایمن است. معهداً ما به طور متعارف برخلاف آن فکر می کنیم. به عنوان مثال ما معمولاً می گوییم که بعضی از خودروها ایمن و برخی دیگر نایمن هستند، اگر چه بسیاری از مردم ممکن است حتی در مورد ایمنی خودرویی که آن را می رانند فکر نکنند.

در خارج از ذهن ما حداقل تعدادی معیار مرجع وجود دارد که ما با توجه به آنها تصمیم می گیریم که قضاوت ما در مورد ایمنی، و خطرپذیری قابل قبول در یک مورد خاص صحیح است یا خیر. برای استفاده از معیار مزبور و بدون نیاز به حذف تعریفی که قبلاً در مورد وابسته بودن ایمنی به دیدگاه مردم ارائه کردیم، می توانیم تعریف مزبور را بسط دهیم.<sup>(3)</sup> یکی از گزینه های ساده در این خصوص این است که ایمنی را مساوی با عدم وجود خطرپذیری در نظر بگیریم. در زندگی موارد اندکی و در مهندسی هیچ موردی وجود ندارد که خطرپذیری آن صفر باشد، لذا ما ترجیح می دهیم که از تعریف اصلاح شده لورنس که به صورت زیر بیان می شود استفاده کنیم: «چیزی ایمن است که خطرپذیری آن کاملاً شناخته شده باشد، و تعداد معقولی از مردم براساس اصول و دیدگاههای خود آن را قابل قبول بدانند.»

لذا از نظر ما، ایمنی مقوله ای است که نحوه ارزیابی مردم از خطرپذیری چیزها را در شرایطی نشان می دهد که مردم خطرپذیری ها را بشناسند و براساس نقطه نظرات و دیدگاههای خود قضاوت کنند. این نگرش از ایمنی تا این حد، مقوله ای ذهنی است ولی از آنجا که مقادیر ایمنی چیزهای مختلف با یکدیگر متفاوت است لذا با این نگرش می توان گفت که ایمنی مقوله ای عینی است. در ادامه بحث، در هر جا که از ایمنی صحبت می کنیم منظور ما خطرپذیری قابل قبول است. ولی باید گفت که این امر صرفاً به منظور سهولت است و آن را صرفاً باید به عنوان تأییدی بر تعریف لورنس و نیز پذیرش آن تلقی کرد.

اغلب ایمنی را برحسب درجه ای از ایمنی و نیز به صورت مقایسه ای بیان کرده و در مورد آن می اندیشند. نظیر موارد مشابه، ما گاهی از اوقات چیزها را به صورت «کاملاً ایمن» و «نسبتاً ایمن» بیان می داریم. اگر بخواهیم از تعریف قبلی استفاده کنیم، معنای درجه ایمنی نسبت به قضاوت فرد یا گروه براساس معیارهای مورد پذیرش و اعتقاد او است. همچنین فرد به این اعتقاد می رسد که میزان خطرپذیری برخی از چیزها، در

مقایسه با برخی دیگر از چیزها، بیشتر یا کمتر قابل قبول است. به عنوان مثال، هنگامی که می‌گوییم سفر با هواپیما ایمن تر از سفر با خودرو است، منظور ما این است که تعداد کشته‌ها و مجروحان به ازای یک مایل سفر با

### ۳

هواپیما کمتر از آن سفر با خودرو است. در این مثال، تعداد کشته‌ها و مجروحان به ازای هر مایل سفر، پارامتر خطرپذیری ای است که ما از آن پرهیز می‌کنیم. کلام آخر آنکه، منظور ما از «چیزها» شامل محصولات، خدمات، فرآیندهای آکادمیک، و حفاظت در برابر صدمات می‌شود.

## ۵-۱-۲- خطرپذیری‌ها

هنگامی که می‌گوییم چیزی ایمن نیست منظور آن است که میزان خطرپذیری آن غیرقابل قبول است، ولی باید دید که «خطرپذیری» چه معنایی دارد؟ «خطرپذیری استعداد چیزها برای وقوع حوادث صدمه‌زننده به صورت ناخواسته است. هنگامی که بعضی شرایط را تحمل کرده یا برخی از مواد را مصرف می‌کنیم که ایمن نیستند معنای این کار آن است که ما خطرپذیری کرده‌ایم. ویلیام دروه، به این نکته اشاره دارد که: «خطرپذیری، استعداد تحقق تبعات ناخواسته حوادث تهدیدکننده است.»<sup>(۴)</sup> بنابراین، وقوع یک حادثه صدمه‌زننده در آینده مسلم فرض شده است.

خطرپذیری نظیر صدمه، مفهوم گسترده‌ای است که انواع مختلف حوادث ناخواسته را تحت پوشش قرار داده است. از نقطه نظر فن آوری آن را می‌توان کاملاً معادل خطراتی دانست که موجب بروز صدمات جانی، خسارات اقتصادی، یا صدمه به محیط زیست می‌شوند. موارد فوق را می‌توان به ترتیب ناشی از تاخیر در تکمیل مشاغل، تولید محصولات یا سیستم‌های معیوب، یا ارائه راه حل‌های غیراقتصادی یا صدمه‌زننده به محیط زیست برای مسائل تکنولوژیکی دانست.

عملکردهای اصولی مهندسی همواره ایمنی را در نظر می‌گیرند. ولی با افزایش تاثیر فن آوری بر روی اجتماع، دغدغه مردم در خصوص خطرپذیری‌های ناشی از تکنولوژی افزایش یافته است. خسارات ناشی از استفاده از محصولات مصرفی و نیز ناشی از فرآیندهای تولید، قابل اندازه‌گیری و قابل تعریف اند. علاوه بر آنها، در حال حاضر برخی از تاثیرات تکنولوژی که کمتر نیز مشهود هستند، راه خود را به آگاهی و دغدغه مردم باز کرده اند. علی‌رغم آنکه موارد اخیر را اغلب خطرپذیری‌های جدید می‌نامند، ولی بسیاری از آنها مدت زیادی است که وجود دارند. تازگی آنها را می‌توان فقط ناشی از موارد زیر دانست:

(۱) آنها را می‌توان به گونه‌ای نوین تعریف کرد، زیرا میزان خطرپذیری آنها تغییر کرده است، یا میزان ذخیره شده آنها در محیط زیست به حد آستانه‌ای رسیده است، یا روشهای اندازه‌گیری آنها تغییر کرده است.  
(۲) درک مردم نسبت به آنها تغییر پیدا کرده است. دلیل این امر می‌تواند آموزش، تجربه، رسانه‌های جمعی، و یا کاهش خطرات پنهان و غالب باشد.

ضمناً خطرات ناشی از حوادث همچنان ادامه دارد و به جوامع بشری صدمه می‌زند. تکنولوژی موجب آن شده است که حیطه عملکرد برخی از این حوادث، نظیر سیلاب و ...، به میزان زیادی کاهش یابد. ولی از سوی دیگر باید گفت که تکنولوژی صدمات ناشی از برخی از آنها نظیر زلزله را افزایش نیز داده است، زیرا اینگونه موارد موجب آن شده اند که تمرکز جمعیت روز به روز بیشتر شود و نیز صدمات وارد بر شبکه‌های تکنولوژی‌های دقیق با طول عمر زیاد، نظیر شبکه‌های آب، انرژی، و غذا را افزایش دهند. یکی دیگر از مواردی که به همین میزان اهمیت دارد و به بشر مربوط است، سیستمهای دفع یا انبار مواد زائد، نظیر سیستم‌های دفع فاضلاب، محل‌های دفع و دفن زباله، و سیستم‌های اصلاح و خنثی‌سازی مواد زائد سمی است که توجه عمومی به خطرات بالقوه آنها در حال حاضر جلب شده است.

## ۵-۱-۳- میزان خطر قابل پذیرش

اگر از نسخه اصلاح شده تعریف لورنس در مورد ایمنی به عنوان میزان ریسک قابل قبول استفاده کنیم،

۴

آنگاه لازم است مفهوم قابلیت پذیرش را به صورتی دقیقتر بررسی کنیم. ویلیام د. روه در این باره می گوید: «خطر پذیری هنگامی قابل قبول است که تمام آنهایی که تحت تأثیر خطر مزبور قرار می گیرند، در مورد آن نگران و دلواپس نباشند».<sup>(۵)</sup> این نگرانی و دلواپسی به میزان زیادی به این امر بستگی دارد که خطر پذیری را چگونه درک کنیم. این امر تحت تأثیر عوامل چندی نظیر عوامل زیر قرار دارد: (۱) میزان خطر پذیری مزبور تا چه حد به طور آگاهانه پذیرفته شده است؟ (۲) احتمال خطر و صدمه دیدن (با احتمال سود بردن) تا چه حدی معلوم یا درک شده است و تأثیر این آگاهی چقدر است؟ (۳) آیا خطر پذیری به شغل و شرایط کاری وابسته است یا آیا فشارهای دیگری وجود دارند که موجب شوند مردم از خطر پذیری آگاه بوده یا از آن چشم پوشی و غفلت کنند؟ (۴) آیا تأثیرات یک فعالیت یا موقعیت خطر پذیر فوراً قابل توجه یا قابل حصول است یا خیر؟ (۵) و آیا قربانیان بالقوه در معرض خطر، از پیش شناسایی شده اند یا خیر؟

حال برای درک بهتر مفهوم خطر پذیری، موارد فوق الذکر را به کمک چند مثال روشن می سازیم.

### ۱) اختیاری بودن و کنترل

جان و آن اسمیت و فرزندانشان از موتور سواری بر روی زمین ناهموار لذت می برند. آنها به دلیل انجام این ورزش بالقوه خطرناک، به طور اختیاری خود را در معرض خطر قرار می دهند. آنها توقع ندارند که سازنده موتور سیکلتهای ورزشی ای که آنها بر روی آن سوار می شوند همان ضوابط و استانداردهای ایمنی ای را رعایت کنند که سازنده یک خودرو سواری، که مردم هر روزه از آن استفاده می کنند، رعایت می کنند. موتورسیکلتهایی که آنها برای این منظور از آن استفاده می کنند باید محکم و در عین حال سستبر باشد، ولی برخی دیگر از ویژگی های آن نظیر پوشش قطعات نمایان موتور، روکش قطعات و پانلها، مکانیسم بالقوه شکننده هدایت خودرو، یا ترمزهای اضطراری این موتور سیکلتهای غیر ضروری یا نامناسبند.

بحث فوق در مورد موتورسیکلتهای ورزشی و نظایر آن، شامل وسایل نقلیه سه چرخه ای که بر روی همه انواع سطوح زمینها می توانند حرکت کنند نمی شود. وسایل نقلیه سه چرخه مزبور موجب صدمات با شدت و میزان بیشتری می شوند. دلیل این امر آن است که این گونه وسایل نقلیه به آسانی چپ می شوند. استفاده از این وسایل نقلیه در حال حاضر در ایالات متحده ممنوع است. در طول مدت پنج سال آخر قبل از این ممنوعیت، این وسایل نقلیه موجب مرگ ۹۰۰ و زخمی شدن ۳۰۰,۰۰۰ نفر شدند. سن در حدود نیمی از این افراد زیر ۱۶ سال بود.

جان و آن در نزدیکی یک کارخانه تولید مواد شیمیایی زندگی می کنند. این منطقه تنها جایی است که آنها استطاعت آن را دارند. ضمناً این محله در نزدیکی کارخانه کشتی سازی، که آنها در آن کار می کنند، است. آنها در این محله از آلودگی هوا و نیز وجود زباله های سمی بر روی زمین رنج می برند. بازرسان رسمی مسئول به آنان گفته اند که نباید نگران باشند. معهداً آنان نگرانند و فکر می کنند که برای این نگرانی و شکایت از وضع موجود دلایل قابل قبولی دارند. آنها دوست ندارند که در معرض خطراتی قرار گیرند که ناشی از وجود یک کارخانه شیمیایی ای است که هیچگونه ارتباطی نیز با آن ندارند و تنها به دلیل اجبار مجبور شده اند در این شرایط قرار گیرند. ضمناً ارتباط سود آور بین آنها و این کارخانه، ناشی از منافع آنان به عنوان یک مصرف کننده محصولات مصرفی کارخانه یا سایر ارتباط های ممکن، آنقدر ناچیز و دور از ذهن است که نمی تواند دلیلی برای انتخاب آنان باشد.

جان و آن، نظیر بسیاری از ما، در چنین شرایطی بدین صورت رفتار می کنند: ما در مورد خطراتی که به طور اختیاری آن را اختیار کرده ایم، در مقایسه با خطراتی که به صورت اجبار در معرض آن قرار گرفته ایم، نگرانی بسیار کمتری داریم. اگر بخواهیم این گفته را به زبان «مهندسی، به عنوان یک تجربه اجتماعی» بیان داریم می توانیم

بگوییم که مردم بیشتر دوست دارند که موضوع تجربیات خودشان (اعم از اجتماعی و غیر آن) باشند و نه تجربیات دیگران.

یکی از مقولاتی که ارتباط تنگاتنگی با دیدگاه فوق در مورد اراده گرایی دارد، مقوله کنترل است. خانواده اسمیت خودشان تصمیم می گیرند که در کجا و در چه زمانی موتور سواری کنند. آنها خودشان دستگاه هایی (مثلاً موتورسیکلت هایی) را که با آن کار می کنند انتخاب کرده اند و از اینکه می توانند یا فکر می کنند می توانند که چگونه این دستگاه ها را کنترل کنند به خود می بالند. اگر چه آنها از اشکال مختلف حوادثی که ممکن است بر اثر کار با این دستگاه ها برایشان پیش بیاید آگاهند، ولی همواره به خود می گویند که این حوادث برای دیگران پیش می آید و نه برای آنها. بدین ترتیب با توجه به اینکه آنها اعتقاد دارند که حوادث تحت کنترل آنها است لذا ممکن است بر این اساس به گونه ای غیر واقع گرایانه به عموم مردم اعتماد کنند.<sup>(6)</sup>

ولی با این وجود، در ورزشهای خطر آفرین و حادثه سازی نظیر موتورسواری، اسکی، پرواز با هواپیماهای بدون موتور، پرش، اسب سواری، بوکس و نظایر آن، شرکت کنندگان در آنها فکر می کنند که شرایط تحت کنترل آنها است، لذا به انجام آنها مبادرت می ورزند. مشتاقان این ورزشها، در مورد حوادث این ورزشها در مقایسه با خطرات ناشی از آلودگی هوا یا سوانح هوایی، نگرانی کمتری دارند. یکی دیگر از دلایلی که موجب می شود شرکت کنندگان در این ورزشها خیلی نگران تبعات ناشی از آنها نباشند این است که بسیار نادر اتفاق می افتد که تعداد زیادی از تماشاچیان بی گناه بر اثر حوادث ناشی از این ورزشها دچار حادثه شده و صدمه ببینند.

## ۲) تأثیر اطلاعات بر روی ارزیابی میزان خطر پذیری

در صورتی که اطلاعات لازم برای تصمیم گیری در اختیار باشد، این امر می تواند تأثیر بسیار زیادی بر روی درک چگونگی میزان خطر داشته باشد. خانواده اسمیت در مورد استفاده از کمربند ایمنی در هنگام سوار شدن به خودرو لاقید هستند. آنها می دانند که احتمال بروز خطر در هر سفر بسیار کم است. با این وجود، در صورتی که به آنها گفته شود که در طی یک دوره زمانی ۵۰ ساله رانندگی، با ۸۰۰ سفر در سال، احتمال اینکه حداقل یک سانحه که موجب معلولیت آنها شود برای آنها رخ دهد برابر با ۱ به ۳ است آنگاه عادت آنها برای بستن کمربند ایمنی و نگرش آنها در این مورد احتمالاً متفاوت خواهد بود.<sup>(7)</sup> مطالعات و بررسی ها این نکته را تأیید می کنند که در صورتی که شرایط تغییر کند و اطلاعاتی در مورد خطر ارائه شود، ارجحیت ها در مورد چگونگی برخورد با خطر به صورتی چشمگیر تغییر خواهد کرد.

به عنوان مثال می توانیم به یک مورد عینی به عنوان یک تجربه واقعی اشاره کنیم که در آن به دو گروه ۱۵۰ نفره در مورد استراتژی های موجود برای مقابله با یک بیماری مطالبی گفته شد. این بیماری، همان بیماری همه گیر سارس (SARS) است که در سال ۲۰۰۳ شیوع پیدا کرد. این بیماری را برای گروه اول به صورت زیر تشریح کردند:

((چنین در نظر بگیرید که ایالات متحده خود را برای شیوع یک بیماری آسیایی نامتعارف آماده می کند. پیش بینی می شود که این بیماری موجب مرگ ۶۰۰ نفر بشود. برای مقابله با این بیماری دو نوع برنامه به عنوان راه حل ارائه شده است. فرض کنید که برآورد علمی دقیق تبعات برنامه های مزبور به صورت زیر باشد:

۱) در صورت اجرای برنامه A، ۲۰۰ نفر از مرگ نجات می یابند.

۲) در صورت اجرای برنامه B، احتمال اینکه همه ۶۰۰ نفر از مرگ نجات یابند  $\frac{1}{3}$ ، و احتمال اینکه هیچ

کس نجات پیدا نکند  $\frac{2}{3}$  است.

شما کدامیک از دو راه حل فوق را اتخاذ می کنید؟<sup>(8)</sup>

گزارش پژوهشگران حاکی است که ۷۲ درصد پاسخ دهندگان برنامه A و فقط ۲۸ درصد آنان برنامه B را انتخاب کردند. بدیهی است چشم انداز روشن نجات یافتن ۲۰۰ نفر در گزینه A موجب آن شد که بسیاری از پاسخ دهندگان نسبت به انتخاب خطر پذیری در زمینه حفظ احتمالی جان ۶۰۰ نفر اکراه داشته باشند. برای گروه دوم نیز همان مسئله و همان گزینه ها مطرح شد، ولی گزینه ها به صورتی متفاوت بیان گردیدند:

۵

(۱) در صورت انتخاب برنامه C، ۴۰۰ نفر می میرند.

(۲) در صورت انتخاب برنامه D، احتمال اینکه هیچکس نمیرد  $\frac{1}{3}$ ، و احتمال اینکه همه ۶۰۰ نفر بمیرند  $\frac{2}{3}$  است.

شما کدامیک از دو گزینه فوق را انتخاب می کنید؟

در این حالت فقط ۲۲ درصد برنامه C را، که همانند برنامه A است، انتخاب کردند. همچنین ۷۸ درصد از پاسخ دهندگان گزینه D را، که با گزینه B یکی است، انتخاب کردند.

یکی از نتایجی که می توان از تجربه فوق گرفت این است که گزینه هایی که نتایجی قطعی را به دست می دهند، در مقایسه با گزینه هایی که به صورت احتمالاتی صرف یا توام با خطرپذیری، بیشتر ترجیح داده می شوند. نتیجه گیری دوم این است که گزینه هایی که بر روی خسارت ها و تلفات قطعی تاکید می کنند، در مقایسه با گزینه هایی که شانس موفقیت آنها به صورت احتمالاتی درک می شود، کمتر انتخاب می شوند. خلاصه آنکه، به منظور اجتناب از مشاهده تلفات قطعی، مردم بیشتر تمایل دارند که در مقایسه با دستیابی به دستاوردهای احتمالاتی صرف، خطرپذیری را انتخاب کنند.

### ۳) خطرپذیری های وابسته به شرایط شغلی

جان اسمیت، که در کارخانه کشتی سازی کار می کند، در گذشته در محیط کاری خودش در معرض آرزست قرار داشته است. حال، وی از درصد زیاد موارد بیماری آرزستوزیس در بین کارگران آگاه شده است، و پس از مشاوره با پزشک خویش دریافته است که او به میزان جزئی در معرض این خطر قرار داشته است. حتی «آن»، که در بخش اداری کارخانه کشتی سازی کار می کند، به دلیل دست زدن به لباسهای شوهرش، نشانه هایی از بیماری آرزستوزیس را نیز داشته است. پیش از این، جان هیچگونه امتیازی در این کلام نمی دید که: «همه جار و جنجالها را برخی از خیال پردازان راه انداخته اند». تصور او این بود که برای آنکه وی کارهایش را انجام دهد، هزینه هایی صرف شده است. همچنین او احساس می کرد که ماسکهایی که وی از آنها استفاده می کرده و گاهی از اوقات آن را در می آورده توانسته است وی را به میزان کافی حفاظت کند، و لذا فکر می کرد که پزشک شرکت مزبور توانسته است سلامتی وی را به خوبی تامین کند.

بدین ترتیب، اندیشه جان در این خصوص شبیه بسیاری از کارگرانی است که در کارهای خود ریسک زیادی می کنند، و حتی گاهی از اوقات از این کار به آنها احساس دلیری نیز دست می دهد. البته باید گفت که قرارگیری در معرض خطرات شغلی از یک نظر اختیاری است زیرا می توان خود را از آنها دور کرده و از آثار منفی آنها جلوگیری کرد. حتی می توان گفت که کارگران شاید بر روی چگونگی کاری که انجام می دهند کنترل دارند. ولی شرایط غالباً "بدینگونه است که کارگران و کارکنان، به دلیل محدودیت های شغلی و عدم امکان انتخاب آزاد شغل، مجبورند در شغل فعلی خود باقی مانده و چیزی را انجام دهند که از آنان خواسته می شود. آنچه که اغلب به

کارگران گفته نمی شود در مورد خطراتی است که بر اثر قرارگیری در معرض مواد سمی و سایر موارد زیانآوری حاصل می آید که قابل دیدن، بوییدن، شنیدن یا درک با سایر حواس نیستند.

موافقتنامه ها، نظام نامه ها و مقررات موجود در زمینه سلامتی و ایمنی شغلی (نظیر ضوابط الزامی در مورد مواد

## ۶

سمی) می توانند موقعیت را اصلاح کرده و بهبود بخشند، ولی استانداردهایی که شرایط محیط کار (نظیر کیفیت هوای محیط) را تنظیم کرده و تحت قاعده در می آورند محدوده عمل بسیار کمتری نسبت به استانداردهای تنظیم شرایط محیط زیست عمومی دارند. این نکته نیز قابل بحث است که واژه های "عمومی" و "عموم مردم" شامل بسیاری از مردم می شود که حاشیه سلامتی و ایمنی کمی دارند و لذا آستانه پایین آنها برای آلودگی هوا ایجاب میکند که محیط زیست بسیار تمیزی برای آنان و سایر مردم تامین و تدارک دیده شود. از سوی دیگر، کارگران کارخانه ها معمولا "بندرت تا این حد تحت پوشش اقدامات تامین سلامتی و ایمنی قرار می گیرند. حتی در محیط های بسیار خطرآفرین (مثلا" محیط هایی که منجر به سیاه یا قهوه ای شدن شش ها می شوند) نیز گاهی از اوقات در موافقتنامه های تنظیم شده با اتحادیه ها، خواستهای کم و حداقلی برای اعمال تغییرات در محیط کار مطرح می شود. دلیل آن هم این است که این اتحادیه ها فکر می کنند که درخواست اعمال اصلاحات واقعا" مورد نیاز در محیط کار ممکن است موجب آن شود که کارفرمایان، کارگران را به طور دسته جمعی از کار اخراج کنند.

مهندسان مسئول طراحی و تجهیز کارخانه ها و محیط های کاری باید این نکته را در طرحهای خود به حساب بیاورند که بسیاری از کارگران، بویژه آنان که مزد خود را بر اساس کارمزد، و نه بصورت زمان مزد، دریافت می کنند نسبت به ایمنی نگرشی خوشبینانه دارند. لذا در صورتی که مشاهده شود که یک کارگر از شرایط نایمن محیط کاری خود شکایت دارد ولی سایر کارگران چنین کاری را انجام نمی دهد نباید به حرف کارگر مزبور توجه نکرد و شکایت وی را مبتنی بر خیالبافی یا کندذهنی وی تلقی کرد. به عنوان مثال می توان از سندروم درد استخوان مچ نام برد که معمولا" کارگران گوشت فروشی ها، یا منشی هایی که با صفحه کلید کامپیوتر کار می کنند از آن رنج می برند. اینگونه بیماری ها را بیماری های عضلانی - استخوانی یا MSD می نامند. در ایالات متحده هنوز برخی از گروه های صنعتی به این موضوع بر این اساس فکر می کنند که نیروهای کاری مزبور دنبال اخذ غرامتی هستند که شایستگی دریافت آن را ندارند. اداره سلامتی و ایمنی شغلی (OSHA)، به دلیل فقدان حمایت های سیاسی کافی هنوز نتوانسته است پیش نویس ضوابط و دستورالعمل های ارگونومی مناسبی در مورد بیماری های شغلی نوع MSD تدوین نماید. معهذ، با توجه به گزارشهای منتشر شده از کارخانه ها و محیط های کاری در مورد انواع شرایط محیطی ایمن که موجب وارد آمدن لطمه به سلامتی انسانها به هر صورت می شوند شایسته آن است که مهندسان برای تامین سلامتی و ایمنی محیط های کاری توجه و اقدامات جدی مبذول دارند، خواه قوانین و ضوابط ویژه ای در این خصوص وجود داشته یا تدوین شده باشد و خواه نباشد یا نشده باشد.

## ۴- بزرگی و شدت خطر، و قرابت با افراد در معرض خطر

عکس العمل ما به خطرها تحت تاثیر ترس ما از بروز حوادث ناگوار احتمالی قرار دارد. این امر از دو جنبه بیان می شود: یکی بزرگی و شدت خطر، و دیگری هویت افراد در معرض خطر یا پیوندها و قرابت و خویشاوندی ما با

آنان. یک سانحه هوایی که برخی از قربانیان آن را می شناسیم، یا به دام افتادن یک کودک آشنا در درون یک غار، در مقایسه با مرگ افراد ناآشنا در حوادث مختلف بزرگراهها تاثیر بیشتری بر روی ما می گذارد.

اگر به زبان اعداد بخواهیم صحبت کنیم دو حالت زیر را در نظر می گیریم: یکی اینکه فردی از جمع ۲۰ نفره دوستان صمیمی ما در معرض خطر قرار گرفته باشد و دیگر اینکه همین خطر برای ۵۰ نفر غریبه از یک جمع

## ۷

حادثه اول بر روی ما بیشتر است. همچنین، هنگام ارزیابی و درک میزان خطرپذیری ناشی از حوادث مختلف، عامل ۱۰۰۰ نفره رخ داده باشد. در بسیاری از اوقات، اگرچه حادثه دوم شدیداً ما را تحت تاثیر قرار خواهد داد، ولی تاثیر خویشاوندی و پیوند فوق نیز همین تاثیر را دارد. ما عموماً "خطری را که در آینده ممکن است بروز کند به کمک استدلال عقلانی گوناگون به آسانی از ذهن خود دور می کنیم. از جمله این استدلال عقلانی عبارتند از: (۱) « چیزی که در جلو چشم ما نیست، در ذهن ما نیز جای ندارد» (۲) حوادثی را که احتمال وقوع آنها کمتر است در پیش بینی های آینده کمتر جای می دهیم. (۳) این عقیده در ذهن ما جای گرفته است که در طی زمانه، عواملی برای مقابله با خطرات به کمک ما می آیند و گشایشی رخ خواهد داد.

استنباط و درک غلط از اعداد می توانند موجب آن شوند که از خسارات ناشی از حوادثی چشم پوشی کنیم که خطر واقعی آنها بسیار بیشتر از آن است که از بررسی ظاهری آنها استنباط می کنیم. به عنوان مثال حادثه پل کبک را در نظر می گیریم که در سال ۱۹۰۷، قبل از اتمام آن فرو ریخت و ۷۵ نفر مفقود شدند. همانگونه که ویلیام استارنا اظهار می دارد:

*از ۷۵ نفر فوق، ۳۵ نفرشان هندی الاصل هایی بودند که در ناحیه ای در کبک زندگی می کردند. مرگ این افراد تاثیر تکان دهنده و شدیدی بر روی این ناحیه کوچک هندی نشین گذاشت، و سیمای مردم شناختی، مبانی اقتصادی و ساختار جامعه شناختی آن را شدیداً تغییر داد. کارگران کارخانه فولاد در آن ناحیه از آن به بعد هرگز در کارخانه هایی با این تعداد وسیع کار نکردند، و به جای آن ترجیح دادند که در مشاغل مختلف با گروه های کاری کوچک کار کنند.* (۹)

مهندسان با دو مسئله از نظر مفاهیم اجتماعی ایمنی روبرو می شوند. از یک سو، یک درک کاملاً خوشبختانه وجود دارد که چیزهای آشنا، که قبلاً به ما صدمه زده اند و نیز ما بر روی آنها کنترل داریم، هیچگونه خطر واقعی برای ما ندارند. از سوی دیگر، در صورتی که برخی از حوادث موجب کشته یا زخمی یا معلول شدن تعداد زیادی از انسانها بشوند، یا به انسانهای آشنا صدمه بزنند، حتی اگر از نظر آماری احتمال وقوع این حوادث ناچیز باشد باز هم می توانند موجب احساس ترس و ناامنی در مردم بشود.

بعضی از اوقات شنیده می شود که مدیران صنعتی اعلام می دارند که کسانی که از تاثیرات آلودگی هوا، زباله های سمی یا نیروگاه های هسته ای می ترسند، یا انسانهایی اند که احساساتی و غیر منطقی می باشند یا اینکه آنان را با اهداف سیاسی تحریک کرده اند. از نظر ما، این امر ناشی از درک اشتباه موضوعات منطقی است که شهروندان اندیشمند آن را برای عموم اظهار می دارند. نکته مهم آن است که مهندسان، معمولاً اینگونه نگرشهای گسترده در مورد خطرپذیری را به عنوان بخشی از کار خویش می شناسند و آنها را در طراحی های خود در نظر می گیرند.

## سؤالات مباحثه ای

۱- یک مسئله ترافیکی واقعی یا فرضی را تشریح کنید که در همسایگی شما اتفاق می افتد و در آن عبور از تقاطع یک خیابان شلوغ برای کودکان و سالمندان مشکل است. خودتان را در شرایط زیر قرار دهید:

الف) فردی که هر روزه به منظور رفت و آمد به محل کار از آن خیابان می گذرد.

ب) والدین یک کودک، یا بستگان یک فرد سالمند که می باید گاه گاهی از آن خیابان عبور کنند.

۸

پ) یک افسر پلیس که مسئول تنظیم و کنترل ترافیک عبوری از آن خیابان است.

ت) مهندس مسئول ترافیک شهر، که تحت یک شرایط بودجه ای محدود مشغول به کار است.

توضیح دهید که در مسئولیتها و نقشهای متنوع فوق، واکنش شما به شرایط و افراد زیر چگونه است:

ث) افرادی که از شرایط خطرناک عابران پیاده در محل تقاطع خیابان شاکی اند.

ج) از شما درخواست بشود که محل عبور عابران پیاده را به کمک چراغ های راهنمایی یا چراغهای اعلام خطر محافظت کنید.

۲- در بعضی از کشورهایی که از نظر فن آوری توسعه یافته اند، صنایع مجبورند که ازمقیدات ناشی از ضوابط ایمنی پیروی کنند. برخی از این صنایع تصمیم به فروش محصولات خود، یا انتقال خط تولید خود به کشورهای کمتر توسعه یافته ای که خطرپذیری های بیشتر را نیز مجاز می شمرد، گرفته اند. نمونه ای از این موارد، فروش داروهای نامطمئن یا غیرمؤثر شرکت های داروسازی کشورهای بسیار صنعتی به کشورهای جهان سوم، و نیز انتقال خط تولید محصولات آزیستی از ایالات متحده به مکزیک در سالهای قبل است. <sup>(10)</sup> یکی از نمونه های اخیر از این دست آن است که زباله های سمی - از باتری های سربی اسیدی گرفته تا زباله های اتمی - به فهرست "صادرات" اضافه شده است. به نظر شما تفاوت برداشت ها در مورد خطر پذیری، تا چه حد در مورد انتقال اینگونه کالاها و خطوط تولید به سایر کشورها نقش دارد و چگونه در این مورد قضاوت میکند؟ آیا این فعالیت، از جمله فعالیتهایی است که می تواند یا باید به نظم در آید؟

۳- خطر انفجار ذرات دانه ای بیش از آن پودر زغال یا باروت است. احتراق ناشی از تخلیه الکترواستاتیکی یا سایر دلایل موجب گسیختگی و از هم پاشیده شدن سیلوه های ذرات دانه ای و کشته یا مجروح شدن تعداد زیادی از کارگران طی سالهای متمادی شده است. پس از کشته شدن ۵۴ نفر در ایام کریسمس سال ۱۹۷۷ بر اثر این پدیده، مدیران شاغل در این صنعت و نیز دولت ایالات متحده نهایتاً تصمیم به مقابله با این موضوع گرفتند. <sup>(11)</sup> ده سال بعد، پس از کشته شدن ۵۹ و زخمی شدن ۳۱۷ نفر در اینگونه حوادث، توافقنامه ای در زمینه استاندارد این موضوع به تصویب رسید که بر اساس آن انباردانه هایی به ابعاد  $\frac{1}{8}$  اینچ (۳ میلیمتر) و بیشتر، در ایالات متحده، خطرناک و غیر مجاز تشخیص داده شد. معهدا، در روز دوشنبه هشتم ژوئن ۱۹۹۸، در یکی از بزرگترین بالابراه های مصالح دانه ای در جهان واقع در مجتمعی متشکل از ۲۴۶ سیلوی بتنی، هر یک به ارتفاع ۱۲۰ فوت (۳۶ متر)، که در محدوده ای به طول نیم مایل (۸۰۰ متر) در کانزاس گسترده بود، چندین انفجار رخ داد که بر اثر آن هفت کارگر، که مشغول انجام عملیات روزانه نگهداری بودند، کشته شدند و یکی از سیلوه های مزبور کاملاً تخریب گردید. حال، شما ضوابط و شرایط مقابله با انفجار مصالح دانه ای را برای تأمین ایمنی یک کارگاه در دست مطالعه تدوین کنید.

## ۵-۲- ارزیابی میزان خطر و کاهش آن

هرگونه بهبودی در ایمنی محصولات مهندسی اغلب با افزایش هزینه های تولید آن محصول همراه است. از سوی دیگر محصولات فاقد ایمنی موجب تحمیل هزینه های ثانویه ای غیر از هزینه های اولیه تولید به سازنده می شوند که آنها را نیز باید به حساب آورد. از جمله این هزینه ها می توان به هزینه های گارانتی (ضمانت) کیفیت، کاهش رضایت مندی مشتری و حتی کاهش تعداد مشتری بر اثر بروز حوادث و صدمات ناشی از مصرف محصول

مزبور، اقامه دعوی حقوقی بر علیه سازنده، تغییر احتمالی زمان تولید و نظایر آن، مطابق با شکل ۵-۱ اشاره کرد. بنابراین این برای سازنده و مصرف کننده نکته مهم آن است که در مورد خطرات مرتبط بامحصول مورد نظر به درک مناسبی برسند و بدانند که در چه شرایطی کاهش میزان خطر کاری است ارزشمند و توجیه پذیر است.

## ۵-۲-۱- عدم قطعیت‌های طراحی

باید توجه داشت که تجربیات و داده های تاریخی موجب آن می شوند که اطلاعات خوبی در مورد ایمنی محصولات استاندارد فراهم شود. بسیاری از این اطلاعات جمع آوری و منتشر شده است. با این وجود مواردی نیز وجود دارند که بدان ها پرداخته نشده اند. دلایل این امر نیز از جمله عبارتند از:

۱) در بعضی از صنایع اطلاعات به صورتی آزادانه ارائه نمی شود، به عنوان مثال، کمترین هزینه انهدام ناشی از عدم رعایت ضوابط ایمنی در مقایسه با هزینه حل و رفع مسئله از جمله شرایطی است موجب امر فوق می شود.

۲) پس از حصول یک توافق قانونی در یک شرایط غیرشفاف، در اغلب اوقات مسائل و مشکلات و دلایل آنها معلوم نخواهند شد.

۳) همواره می توان از فن آوری های قدیمی تر استفاده های نوینی به عمل آورد، یا اینکه به جای مواد و قطعات موجود، مواد و قطعات دیگری را جایگزین کرد. این امر موجب می شود که سودمندی اطلاعات موجود کاهش یابد.

خطر پذیری معمولاً به ندرت به صورتی آگاهانه و تعمدی برای یک محصول طراحی می شود، بلکه می توان گفت که خطر پذیری ناشی از عدم قطعیت های مختلفی است که مهندس طراح، مهندس سازه، و حتی مهندس فروش و مهندس استفاده کننده از محصول با آن روبرو می شود.

موضوع را با "هدف طراحی" شروع می کنیم. به عنوان مثال یک هواپیمای مسافربری را در نظر می گیریم. آیا در اینجا هدف ما دستیابی به حداکثر سود است یا حداکثر میزان بازگشت سرمایه برایمان مهم است؟ پاسخ به این سؤال برای شرکت مزبور مهم است زیرا نوع سؤال و نحوه پاسخگویی به آن می تواند تعدادی از تصمیمات و نتایج آنها و احتمال موفقیت یا عدم موفقیت اقتصادی شرکت مزبور را تغییر دهد. مثلاً سرمایه گذاری ۱۰۰ میلیون دلاری بر روی یک جت با هدف بیشترین سود دهی، مثلاً ۲۰ میلیون دلار در یک مدت معین، موجب بازگشت سرمایه کمتری درمقایسه با مصرف ۴۸ میلیون دلار بر روی یک جت به منظور بازگشت سرمایه ۱۲ میلیون دلار در همان مدت زمان مزبور می شود.

در خصوص کاربرد نیز می توان گفت که طرحهایی که تحت بارهای استاتیکی به خوبی رفتار می کنند ممکن است تحت بارهای دینامیکی گسیخته شوند.

یکی از مثالهای تاریخی در این مورد، پلی چوبی است که هنگام رژه سربازان ارتش ناپلئون بر روی آن فرو ریخت. چنین ارتعاشی حتی بر روی پلهای فلزی روبرت استیفنسون تأثیر گذاشت، و رژه سربازان بریتانیایی بر روی آن شوک شدیدی بدان وارد کرد. از آن پس، به سربازان دستور داده شد که هنگام عبور از روی پل ها با گامهایی کوتاه حرکت کرده و رژه معمولی خود را بر روی پل ها انجام ندهند.

باد نیز می تواند موجب ارتعاشات مخربی بشود. دو مثال در این مورد عبارتند از:

۱) فرو ریزش پل تاکومانروز، «گالوپین گریت» در سال ۱۹۴۰<sup>(۱۲)</sup>،

۲) گسیختگی خط انتقال نیروی با ولتاژ زیاد در بسفر ترکیه.

در مورد اخیر، ارتعاش کابل‌های هوایی انتقال نیرو بر اثر یک باد شدید موجب آن گردید که بر اثر تماس کابلها با یکدیگر یک قوس الکتریکی تشکیل شده و کابلها ذوب شده و بر روی خانه های واقع در زیر کابلها فرو ریزند.

قطع نظر از عدم قطعیهایی که در کاربرد محصولات وجود دارد، در زمینه موادی که این محصولات از آنها ساخته شده اند و همچنین سطح مهارت نیروهای انسانی دخیل در طراحی و ساخت نیز عدم قطعیت هایی وجود دارد. به عنوان مثال، تغییر عینیت های اقتصادی یا نا آشنا بودن شرایط محیطی تا آن زمان، نظیر دمای بسیار کم محیط، می تواند بر روی چگونگی طراحی محصول تأثیر بگذارد. یک "هند بوک مهندسی" متعارف، که ما بدون توجه به قیود و الزامات آن، از مقادیر مندرج در جدولهای آن از طریق برون یابی (اکسترپولاسیون) مقادیر آن استفاده می کنیم، نمی تواند در شرایط ویژه بخوبی جوابگوی نیازهای ما باشد.

۱۰

حتی در مورد مواد استاندارد که در شرایط متعارف از آنها استفاده می شود باید توجه جدی مبذول شود. در سال ۱۹۸۱ راه رفت و آمد بر روی پلی را که در محل پریری دو چین در ایالت ویسکانسین ایالات متحده بر روی رودخانه می سی سی پی ساخته شده بود بستند. این پل را قبلاً جایگزین یک پل قدیمی کرده بودند. دلیل بستن پل این بود که پس از ساخت آن متوجه شدند که ۱۱ تا ۱۶ مقطع بالدار شاهتیر های پل از فولاد بسیار ترد ساخته شده است.<sup>(13)</sup> در حالی که آزمایشهای مقاومت بتن به صورت مرتب صورت می گیرد، معمولاً مقاومت فولاد را بدون انجام آزمایش قابل قبول فرض می کنند.

ارتعاشات شدیدی از این دست، در رده های مختلف فولاد های با کیفیت استاندارد استثنایی است، و به صورت متعارف این ارتعاشات در این نوع فولادها ناچیز است. معهدنا مهندس طراح باید به این واقعیت توجه کند که داده ها و اطلاعاتی که فروشندگان در مورد موادی نظیر فولاد، قطعات الکتریکی، مواد عایق، شیشه عینک، و نظایر آن به مشتریان خود ارائه می کنند فقط مقادیر میانگین آماری این داده ها است. مقادیر منفرد می توانند به میزان زیادی با مقادیر میانگین فرق داشته باشند.

مهندسان به طور متعارف با این گونه عدم قطعیهای مواد یا قطعات و نیز دانش ناکافی در مورد شرایط عملکرد محصول خود آشنا هستند و با استفاده از «ضرایب ایمنی» مناسب بر آنها تسلط می یابند. ضرایب مزبور سعی بر این دارد که بر مسائل ناشی از اعمال بارهای پیش بینی شده فائق آمده و محصول را در برابر تبعات ناشی از آنها محافظت کند. فرض ما عموماً این است که محصول می تواند تنشهای طراحی را، قطع نظر از مقادیر آنها، تحمل کرده و مقاومت و ظرفیت باربری لازم را در این خصوص دارا می باشد. منظور ما از تنش در اینجا بسیار کلی است و می تواند طبیعت مکانیکی یا غیر آن را داشته باشد که از آن جمله می توان به گرادبان میدان الکتریکی ای که یک عایق در معرض آن قرار گرفته است، و یا شدت ترافیک در یک تقاطع اشاره کرد.

می توان گفت که یک محصول زمانی ایمن است که ظرفیت آن بیشتر از وظیفه اش باشد. ولی این امر مستلزم آن است که آگاهی دقیقی در مورد ظرفیت واقعی و وظیفه واقعی محصول داشته باشیم. در واقعیت، آن میزانی از تنش که مهندس برای یک شرایط بارگذاری آن را محاسبه می کند، با مقداری از تنش که به عنوان یک مقدار نهایی، تحت اثر آن بارگذاری صورت واقعیت به خود می گیرد ممکن است به مقدار بسیار کمی تفاوت داشته باشد. دلیل این امر آن است که در یک محصول که از سوار کردن قطعات مختلف درست می شود، هر یک از قطعات می توانند در حد مجاز خود، چه از نظر ابعاد فیزیکی و چه از نظر مشخصات مختلف، تا حدی رواداری (تولرانس) داشته باشند، زیرا در غیر اینصورت هزینه تولید محصول بسیار سنگین و کمر شکن خواهد بود. نتیجه آن است که ظرفیت یک قطعه مرکب از اجزای مختلف، به عنوان یک کل، را نمی توان با یک مقدار عددی تک، بلکه باید به صورت یک چگالی احتمال بیان کرد. این چگالی احتمال را می توان مطابق شکل ۵-۲ به شکل نموداری، تحت عنوان منحنی "قابلیت" نشان داد. در منحنی قابلیت برابر با مقدار نظیر بر روی محور X ها باشد.

برای وظیفه ای که قطعه مرکب از اجزا واقعاً آن را تجربه خواهد کرد نیز می توان یک منحنی مشابه ساخت. به دلیل تغییرات و تفاوتهای بارگذاری یا شرایط محیطی و نیز شرایطی که محصول در آن شرایط مورد استفاده قرار میگیرد، وضعیت تنش در محصول تغییر خواهد کرد.

همراه با منحنی های قابلیت و وظیفه ، مقادیر اسمی یا آماری ( یعنی امید ریاضی ) را نیز داریم . ما اغلب بر حسب مقادیر اسمی یا امید ریاضی فکر و رفتار می کنیم . اینگونه ساختارذهنی قطعی ممکن است موجب آن شود که درک و تفکر مهندسی ، که شامل تجربه و عمل نیز هست ، برای ما مشکل شود . " ضریب ایمنی "  $C/D$  به سهولت در وجدان ما جای باز می کند . ولی آیا ما چقدر اطمینان داریم که مشخصات مواد مورد نظر ما به مشخصات اسمی مشخصه آنها نزدیک است ، و یا بارهای وارده به میزان زیادی با مقادیر پیش بینی شده آنها تفاوت ندارد ، و یا شرایط محیطی تا چه حد با عملکرد صحیح ماده مقابله می کند ؟

گاهی اوقات منحنی های چگالی احتمال قابلیت یا وظیفه ، مطابق شکل ۵-۲-۲-ب ، به دلیل بزرگتر بودن از

۱۱

واریانس های قابل انتظار ، شکل بهتر و پهن تری به خود می گیرند . در صورتی که مقادیر مربوطه  $D$  و  $C$  ( که بر روی محور افقی ، یعنی محور تنش ها، یعنی  $S$  ، نشان داده شده اند ) ، به همان میزان اولیه باقی بمانند ، آنگاه ضریب ایمنی  $C/D$  نیز به همان صورت رفتار خواهد کرد . حال با این وجود ، در مورد مقادیر احتمال آزار دهنده ، همپوشی مشخصی در ناحیه هاشورخورده منحنی ها می تواند وجود داشته باشد .

ادوارد ب. هاونگن اظهار داشته است: « مفهوم ضریب ایمنی ، از این واقعیت که تغییر پذیری موجب تفاوت قابلیت های اعتماد برای همان ضریب ایمنی می شود کاملاً صرفنظر می کند »<sup>(۱۴)</sup>

یکی از معیارهای مناسب تر ایمنی « حاشیه ایمنی » است، که در شکل ۵-۲-۲-الف نشان داده شده است . در صورتی که محاسبه این حاشیه ایمنی برای بارهای عادی ای که هر روزه مورد استفاده قرار می گیرند مشکل باشد، باید در نظر داشت که این امر برای بارهای متغیر تکراری همراه با مشکلات بیشتری است .

## ۵-۲-۲-تحلیل خطر پذیری - سودمندی

ارزیابی بسیاری از پروژه های بزرگ ، بویژه پروژه های مرتبط با عموم مردم ، بر اساس تحلیل خطرپذیری - سودمندی صورت می گیرد .

سؤالاتی که این بررسی و مطالعه بدانها پاسخ می دهد عبارتند از: آیا استفاده از محصول مورد نظر ارزش آن را دارد که خطرپذیری مرتبط با آن را قبول کنیم؟ سودمندی های ناشی از استفاده از محصول مورد نظر کدامند؟ آیا ارزش استفاده از آنها بیش از خطرپذیری آنها است ؟

تمایل و علاقمندی ما این است که مادامی که سود یا دستاورد یک پروژه ( یک محصول ، یا سیستم، یا فعالیت خطرپذیر ) قابل حصول است میزانی از خطرپذیری را نیز بپذیریم . در صورتی که بتوانیم میزان خطر پذیری و میزان سودمندی را به سهولت بر حسب مجموعه متعارفی از اعداد و ارقام ( نظیر زندگی انسانها یا ارقام مالی ) بیان کنیم، آنگاه انجام تحلیل خطر پذیری - سودمندی نسبتاً ساده خواهد بود و می توانیم تعیین کنیم که آیا می توانیم این انتظار را داشته باشیم که سودمندی بر خطر می چربد یا خیر . به عنوان مثال، برنامه مایه کوبی بر علیه بیماری ها ممکن است موجب مرگ بعضی از افراد نیز بشود ، ولی در صورتی که بر اثر این امر از شیوع یک بیماری همه گیر جلوگیری شده و جان انسانهای زیادی حفظ شود این میزان خطر پذیری ارزش آن را دارد .

انجام یک بررسی دقیق در خصوص تحلیل خطرپذیری - سودمندی می تواند پیچیدگی ها و مشکلات مفهومی را برای ما روشن سازد .<sup>(۱۵)</sup> هم سودمندی و هم خطر پذیری مربوط به آینده اند . از آنجا که این دو موضوع با عدم قطعیت همراهند ، لذا ما باید امید ریاضی آن دو را مشخص سازیم که البته این امر مشروط بر آن است که مدل مزبور با شرایط سازگاری داشته باشد . به بیان دیگر ، ما باید خسارت بالقوه را در احتمال وقوع آن، و سودمندی بالقوه را نیز در احتمال وقوع آن ضرب کنیم. ولی چه کسی این مقادیر را برای ما معلوم می کند ، و چگونه این کار را انجام می دهد ؟ در صورتی که سودمندی در آینده نزدیک ، و خطر احتمالی در آینده دور تحقق می یابند ، آنگاه مقادیر مربوط به آینده را چگونه از طریق جملاتی نظیر آهنگ سودمندی می توان کاهش داده و به مقادیر نظیردر

حال تبدیل کرد، به گونه ای که بتوان آنها را با مقادیر حال مقایسه کرد؟ در صورتی که سودمندی ها به یک گروه تعلق گیرند ولی گروه دیگری خطرات را متحمل شوند وضعیت چگونه است؟

در صورتی که تحلیل در خلال یک دوره زمانی صورت گیرد که آهنگ تأثیر آن دوره از نظر سود و زیان زیاد باشد آنگاه موضوع تعیین آثار ناشی از تأخیر با مشکلات ویژه ای همراه خواهد بود. تحت اینگونه شرایط، مقادیر آینده را باید به میزان بسیار زیادی کاهش داد زیرا مقادیر بسیار کم هزینه یا سود در حال حاضر، تصویری واقعی از آنچه که نسل آینده با آن روبرو خواهد شد به دست نمی دهد.

سؤال دیگر آن است که در صورتی که خطر پذیری ها و سودمندی ها مرکب از اجزایی باشند که نتوان آنها را به صورت مجموعه ای از اعداد معمولی با یکدیگر جمع نمود چه باید کرد؟ به عنوان مثال، می توان به تأثیر یک امر

۱۲

خاص بر روی هر سه مورد سلامتی و زیبایی و قابلیت اعتماد اشاره کرد. در بیشتر مواقع، فرد می تواند طرح هارا بر این اساس که برخی از قیود را بر آورده سازند با یکدیگر مقایسه کند. مثلاً در نظر بگیرد که «مبلغ از X بیشتر نشود»، «سلامتی از Y کمتر نشود» و سپس سعی کند که مقادیر مربوط به زیبایی را با آن قیود مقایسه نماید. یکی دیگر از مواردی از این دست آن است که خطر پذیری ها را بتوان برحسب مجموعه ای از اعداد (مثلاً تعداد مرگ و میر در یک بزرگراه) و سودمندی ها را بر حسب مجموعه دیگری از اعداد (سرعت وسایل نقلیه) بیان کرده و اندازه گیری نمود. در این گونه مواقع، برای مقایسه طرح های مختلف با یکدیگر می توان از نسبت خطرپذیری به سودمندی استفاده کرد.

شایان ذکر است که تحلیل خطر پذیری - سودمندی، نظیر تحلیل هزینه - سود، به مصلحت بودن انتخاب و اجرای یک پروژه بستگی دارد. با این وجود، هنگامی که در مورد طرح های مختلف قضاوت می کنیم، اغلب به نکته فوق توجه نمی کنیم. در عوض، ما در برخورد با مسائل، به گونه ای مشابه تحلیل هزینه - مؤثر بودن عمل می کنیم و به این سؤال پاسخ می دهیم که کدام طرح دارای شایستگی بیشتری است. گاهی اوقات، تغییر نوع بررسی موضوع چنان ظریف است که از آن در می گذرند. معهداً، مهندسان باید به این تفاوتها توجه کافی مبذول دارند تا نادانسته مفروضات مستتر در یک بررسی را در بررسی دیگر به کار نبرند.

با توجه به تفاوتهای فوق، در جامعه تکنولوژیکی امروز به برخی مبانی و روشهای مورد پذیرش عمومی نیاز است که به طور همگانی و همه جانبه در حال اجرا باشند، و یا لاقلاً این شرایط برای آنها فراهم باشد که در صورت لزوم مورد بررسی و مذاقه قرار گرفته و اصلاحات لازم بر روی آنها انجام شود. از این روشها و اصول برای ارزیابی میزان قابل قبول بودن پروژه های بالقوه خطرآفرین استفاده می کنیم. آنچه شرایطی است که در صورت وجود، یک عضو اجتماع می تواند به خود این حق را بدهد که به منظور تأمین سود، چه برای خود و چه برای دیگران، افراد دیگری را به خطر بیاندازد؟<sup>(16)</sup> در اینجا ما نباید افکار خود را به مقادیر میانگین خطرپذیری ها و سودمندی ها محدود کنیم، بلکه باید همچنین آن بدترین شرایطی را نیز در نظر بگیریم که در عین حال که این افراد در معرض بیشترین خطرات قرار می گیرند کمترین سود نیز بدانها تعلق می گیرد. آیا به حقوق آنان تجاوز شده است؟ آیا باید شرایط امن تری برای آنها فراهم آید؟

برای بررسی این مسئله، بعداً باید به عقب برگشته و موضوع درک خطرپذیری را که قبلاً بررسی کردیم مجدداً مورد بررسی و کنکاش قرار دهیم:

امکان بروز خطر برای افراد آشنا (یا افرادی که هویت آنها به گونه ای برایمان روشن است) با نگرش آماری به خطرپذیری، که صرفاً چیزهایی را در باره آن شنیده یا خوانده ایم متفاوت است. نکته ای که باید بدان توجه جدی مبذول داشت این است که مهندسان فقط بر عموم مردم به صورت یک کلیت واحد و بی شکل تأثیر نمی گذارند، بلکه تصمیمات آنها تأثیر جدی مستقیم بر روی افرادی دارد که این تأثیر را به شدت احساس می کنند، و لذا باید این واقعیت را به همان جدیت واهمیتی که خطرپذیری آماری برایمان دارد مد نظر قرار داده و در مطالعاتمان به حساب بیاوریم.

### ۵-۲-۳- خطرپذیری فردی

یک فرد، در صورت داشتن اطلاعات کافی می تواند تصمیم بگیرد که آیا خود را در معرض یک فعالیت ( یا تجربه) توأم با خطر قرار بدهد یا خیر. چنانسی استار شکلهای پر استفاده ای راتهمیه کرده است که نشان می دهند که انسانها تمایل بیشتری برای انتخاب خطرات یا فعالیتهای داوطلبانه، در مقایسه با خطرات غیرداوطلبانه ای که هیچگونه کنترلی بر روی آن ندارند، از خودشان می دهند، حتی اگر احتمال خطر فعالیتهای داوطلبانه برای بروز حوادث وخیم ۱۰۰۰ برابر فعالیتهای غیرداوطلبانه باشد. این موضوع را در شکل ۵-۳ نشان داده ایم.

۱۳

که هست نشان می دهیم. فرض کنید که جان و آن اسمیت و فرزندانشان از اینکه در نزدیکی یک پالایشگاه زندگی می نمایند. احساس ناراحتی می کنند. حال فرض کنید که تمامی مردم طرفدار احداث یک پالایشگاه جدید بودند، و نیز فرض کنید که خانواده اسمیت از قبل در آن ناحیه زندگی می کردند. آیا فکر می کنید که این خانواده و سایر مردم ساکن در آن منطقه در صورتی که در این شرایط قرار می گرفتند سعی در جلوگیری از احداث این پالایشگاه میکردند؟ آیا در صورتی که علی رغم اعتراضات آنها پالایشگاه در هر حال ساخته می شد، آنها را مستحق دریافت غرامت می دانستند؟ در صورتی که جواب مثبت است، میزان غرامتی که آنها شایسته دریافت آنند چه میزان است؟ در بسیاری از موارد، از این دست سؤالات را می توان مطرح کرد. یکی از اینگونه مثالها، جانمایی نیروگاه های اتمی است. شکل ۵-۳ را واقعاً برای مطالعات در زمینه ایمنی تأسیسات اتمی ساخته اند.

در برخی از مسائل، مشکل آن است که پاره ای امور را نمی توان به صورت عددی بیان کرد و لذا تعیین ایمنی و خطرپذیری با مشکل مواجه می شود. به عنوان مثال قیمت زندگی فرد را باید به چه میزان مالی در نظر گرفت؟ این سؤال به همان اندازه مشکل است که بخواهیم تصمیم بگیریم که جان افراد را باید حفظ کرده یا نجات داد. ولی به هر حال، این تصمیمی است که باید اتخاذ کنیم.

برخی از این عقیده پشتیبانی می کنند که باید بازار در این زمینه تصمیم بگیرد. آنها عقیده دارند که بازار می تواند نقش خودش را در این زمینه ایفا کند. ولی باید توجه داشت که در حال حاضر هیچگونه بازاری برای خرید و فروش جان انسان ها در دنیا وجود ندارد. حتی برای برخی از سودها یا زیان های دنیایی نیز نمی توان قیمت گذاشت. در صورتی که بخواهیم به گونه ای درست به مفاهیم و مقوله بازار نگاه کنیم، یا در صورتی که تفاوت گسترده ای بین هزینه « محصول » و قیمت فروش آن وجود داشته باشد، نکته با اهمیت آن است که خرید و فروش تحت چه شرایطی صورت می گیرد. به عنوان مثال، در صورتی که یک نفر یک قرص نان را بخرد، نکته مهم آن است که آیا این قرص نان فقط یکی از قرصهای نانی است که فرد در طول روز خریده است، یا اینکه تنها قرص نانی است که وی پس از هفته ها به دست آورده است. به عنوان یک مثال دیگر، اگر فردی در معرض یک خطر قرار گرفته باشد و به وی بر اساس میانگین میزان قرارگیری افراد در معرض آن خطر غرامت پرداخته باشند، باز هم به دلیل وجود رواداری (تلرانس) برای قرارگیری فرد در معرض خطر و نیز به دلیل شرایط و امکان بروز خطر برای وی می توان گفت که میزان خطر پذیری وی بسیار بیشتر از حد میانگین است، و لذا به نظر می رسد که میزان غرامت پرداختی به وی ناکافی باشد.

بروز اینگونه مشکلات برای تعیین میزان خطرپذیری فردی موجب آن می شود که تحلیلگر از هرگونه معیار و مقدار عددی که در اختیار دارد استفاده کند. در مورد فعالیتهای داوطلبانه، فرد می تواند احتمالاً بر اساس میزان پرداخت بیمه عمر قضاوت کند. آیا اگر همین فرد در دست یک رباینده گرفتار شده باشد باز هم برای آزادی خود همان مبلغ را به وی پیشنهاد می کند؟ آیا بین وقایع آینده (که استفاده از بیمه را ایجاب می کند) و وقایع حال حاضر (تقاضا برای آزادی از دست رباینده) تفاوتی وجود دارد؟

برای تعیین یک شغل خطرناک ، فرد ممکن است به افزایش دستمزدی که کارگر برای انجام وظایف خویش طلب می کند توجه کند . هنگامی که برای ارزیابی هایی از این دست با محدوده وسیعی از متغیرها مواجه می شویم ، می توان فقط این پیشنهاد را ارائه کرد که در هر یک از مواردی که بدانها بر می خوریم از یک روش باز و انعطاف پذیر تحت نظر یک حکم آموزش دیده استفاده شود . از سوی دیگر ، در مواردی که به افراد زیادی مربوط می شود ، ساده تر آن است که بدون آنکه بویژه به کسی توهینی روا داشته باشیم ، از میانگین آماری استفاده کنیم .

#### ۵-۲-۴- خطرپذیری عمومی و پذیرش عمومی

در مسائل مرتبط با تعداد زیادی از افراد ، تعیین خطرپذیری و سودمندی بسیار ساده تر می شود ، زیرا در نظر گرفتن تعداد زیادی از مردم موجب کاهش تأثیر تفاوت‌های فردی می شود . به عنوان مثال ، در شکل ۵-۴ تقابل بین

۱۴

هزینه های یک معلولیت از نقطه نظر یک سیستم ارزش گذاری خصوصی و یک سیستم ارزش گذاری اجتماعی به روشنی نشان داده شده است . همچنین مطالعات ارزیابی ایمنی تکنولوژیکی را می توان به سوی حالتی منفک از دیدگاه کلان هدایت کرد ، به گونه ای که پارامتر های آماری اهمیت بیشتری پیدا کنند . در این زمینه ، اداره ایمنی رفت و آمد در بزرگراه های ملی ایالات متحده ( NHTSA ) ، ارزش زندگی انسانها را بر مبنای از دست رفتن درآمد آتی افراد و سایر هزینه های همراه با حادثه پیشنهاد کرده است . « کتاب آبی ارزش » ، که NHTSA آن را با اهداف مطالعاتی منتشر ساخته است ، ارزش مزبور را در سال ۱۹۷۲ بالغ بر ۲۰۰۷۲۵ دلار در نظر گرفته است . روش مزبور قطعاً مناسب تر از روش مبتنی بر ارقام صادره اخیر توسط دادگاه ها است . در یکی از حوادث اخیر ، یک مکانیک در یک تصادف رانندگی کشته شد و به دلیل آنکه وی نان آور خانواده بود به خانواده اش ۶ میلیون دلار پرداخت شد . علاوه بر آن ، مسبب حادثه از جنبه جزائی جرم به ۲۰ میلیون دلار دیگر نیز محکوم شد .

شولامیت کان بر اساس بازار کار به این نتیجه رسید که ارزش جان انسانها به میزان ۸ میلیون دلار میانگین قابل قبولی است که بیشتر انسانهایی که از آنها سؤال شده بود با آن موافقت داشتند . نکته جالب توجه آن است که مردم برای جان سایر انسانها مقادیر بیشتری ، در حدود ۱۱۵ تا ۲۳۰ درصد بیشتر ، ارزش قائل بودند . کان می گوید: « با این وجود ، مبلغ ۸ میلیون دلار بیش از آن مقداری است که معمولاً در تحلیل استراتژیک در نظر گرفته می شود . بنابر این ناگزیر می توان به طور ضمنی استنباط کرد که تحلیلگران استراتژیک ، بدان میزان که خود مردم خطرات زندگی خود و دیگران را در نظر می گیرند ، میزان خطرات « موضوعات » مطالعات و تصمیم گیری های خود ، یعنی انسانها ، را به حساب نمی آورند . در نتیجه ، مردم تعداد بسیار زیادی را خطرپذیری ها به حساب می آورند.»<sup>(۱۷)</sup>

اتفاقاً NHTSA بر این نکته تأکید دارد که : « در نظر گرفتن ارزش پولی زندگی انسان ها چیزی بیش از بازی با ارقام نیست . ما برای محاسبه این مبلغ برخی از خسارتهای وارده به رفاه اجتماعی بر اثر بروز حوادث ناگوار را که قابل تبدیل به عدد بوده اند در نظر گرفته ایم . امید ما این است که این برآورد به عنوان مبنایی برای تعیین میزان " بهینه " ( یا حتی از آن بدتر) "حداکثر" هزینه ای که باید برای حفظ جان انسانها اختصاص یابد ، در نظر گرفته نشود .»<sup>(۱۸)</sup>

#### ۵-۲-۵- مثالهایی از بهبود شرایط ایمنی

متن حاضر یک مقاله در زمینه طراحی نیست ؛ بنابر این ، ما فقط در اینجا تنها به ارائه چند مثال اکتفا می کنیم تا نشان دهیم که ضرورتی ندارد که ایمنی مبتنی بر نگرشهای احتمالاتی قرار گیرد . به عنوان اولین مثال ، دستگیره آهن ربایی در یخچالها را بررسی می کنیم . این نوع دستگیره ها بدین منظور ساخته شد که در صورتی که بچه ها به طور تصادفی در داخل یخچال به دام بیفتند از مرگ آنها بر اثر خفگی جلوگیری

شود. دستگیره های مصرفی کنونی به گونه ای است که امکان باز شدن در یخچال از داخل بدون تلاش زیاد و به راحتی امکان پذیر است. این دستگیره ها از انواع قدیمی تر آنها ارزانتر نیز هستند.

دومین مثال، دستگیره ویژه ای است که مهندسان فنی موتور قطار از آن برای کنترل سرعت قطار استفاده میکنند. اعمال نیرو به قطار مادامی است که به دستگیره مزبور فشار معینی وارد شود.

در صورتی که مهندس مورد نظر، اعمال فشار بر روی دستگیره را قطع کند قطار به طور خودکار از حرکت باز می ایستد. شاید لازم باشد مدلهای جدیدتر خودروها نیز به این سیستم مجهز شوند.

سومین مثال ما نیز در زمینه خطوط ریلی است. بیش از یکصد سال است که برای اعلام این موضوع به راننده قطار، که می تواند حرکت کرده یا به حرکت خود ادامه دهد، از یک توپ که در بالای یک دیرک قرار دارد استفاده می کنند. به همین دلیل است که در این زمینه، برای سرعت حداکثر، از واژه «توپ بر افراشته» استفاده می کنند. همچنین برای اعلام توقف به راننده، توپ را پایین می آورند. بعداً در چراغهای قطار از یک بازوی

۱۵

مکانیکی برای این کار استفاده کردند. ولی اشکال هردوی این روشها آن است که برای انجام این کار باید از یک کابل کششی استفاده کنند و در صورتی که کابل تصادفاً بریده شود موجب آن می شود که توپ یا بازو در وضعیت توقف قرار گیرد و ایمنی سیستم از بین برود.

سیستم معکوس کننده موتور، که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است، نیز می تواند به عنوان مثالی دیگر از این دست مطرح شود. در این سیستم، می توان صرفاً با تنظیم و آرایش صحیح عوامل و عملکردها و بدون هیچگونه هزینه اضافی به ایمنی مطلوب دست یافت. همانگونه که در شکل ۵-۵-الف مشاهده می کنیم مکانیسم مزبور به گونه ای طراحی شده است که کنتاکتهای میله ای می توانند موجب اتصال کوتاه در سیستم شوند، و در نتیجه حتی اگر بعداً کنتاکتها را شل یا قطع کنیم باز هم امکان استفاده آتی از باتری از بین می رود. اتصال مجدد سیم ها مطابق با شکل ۵-۵-ب موجب آن می شود که مشکل به طور کامل حل شود.

هنگامی که تصمیم گرفته می شود که یک محصول را به صورتی ضربتی وارد بازار کنند، معمولاً در این هنگام به موارد ایمنی توجه کافی مبذول نمی شود. حال اگر به اقدام فوق فقط به عنوان یک تجربه برای ورود به فاز فعال شدن تولید و رسانیدن محصول به دست مصرف کننده نگاه شود و اقدامات جدی بعدی برای رعایت ضوابط ایمنی جدی گرفته شود می توان گفت که از تبعات منفی فوق تا حد زیادی کاسته می شود. مثلاً در مورد پروازهای هوایی باید به تبعات اینگونه اقدامات توجه جدی مبذول شود ولی بیشتر اقدامات ضربتی تسخیر بازار در اکثر محصولات موجب خطرات جدی نمی شود و لذا معمولاً ضرورت بذل توجه جدی به آنها وجود ندارد. در صورتی که ملاحظات اخلاقی به تنهایی برای ایجاد انگیزه در مهندسان و کارکنان آنها کافی نباشد و موجب بذل توجه جدی آنها به مسائل ایمنی و هوشیاری کافی در زمینه خطرات بالقوه نشود، آنگاه همانگونه که در سیاستها و روشهای سالهای اخیر مد نظر قرار گرفته است سعی شده است که قوانین و ضوابط و مسئولیتهای ناشی از تولید به گونه ای جدی جبران خلأهای احتمالی را بنماید.

### سؤالات مباحثه ای

۱- به یک کارگر، یک کار خطرناک با پاداش سالیانه ۲۰۰۰ دلار پیشنهاد شده و وی آن را پذیرفته است. احتمال مرگ کارگر در این کار در یک سال برابر با ۱ بر ۱۰,۰۰۰ است و کارگر مزبور نیز از این امر آگاه است. لذا کارگر مزبور می تواند پاداش سالیانه فوق را به عنوان ارزش جان خود تفسیر کرده و میزان ارزش جان خود را از تقسیم ۲۰۰۰ دلار بر (۱۰,۰۰۰ ÷ ۱)، یعنی برابر با ۲۰ میلیون دلار، به دست آورد. در صورتی که ارقامی که از نظر اماراتی به ارقام فوق نزدیک باشد به کارگر مزبور پیشنهاد شود، مثلاً پاداش سالیانه پیشنهادی ۱۰۰,۰۰۰ دلار در طول ۵۰ سال (با صرف نظر کردن از نرخ بهره) ولی احتمال وقوع یک حادثه فاجعه آمیز مرگبار در طول این دوره زمانی (۲۰۰ ÷ ۱) باشد آیا کمابیش این احتمال وجود دارد که کارگر مزبور این پیشنهاد را بپذیرد؟

۲- یک نوع مخزن رنگ پاش وجود دارد که برای خارج کردن محتوای آن به مخزن خارجی هوای فشرده متصل به آنها از طریق یک شلنگ قوی نیازی نیست. این نوع مخازن دارای یک موتور الکتریکی و یک پمپ هستند و از طریق یک سیم برق به منبع تأمین نیرو متصل هستند. در یکی از طرح های متداول در این زمینه، از یک موتور القایی استفاده می شود که تولید جرقه نمی کند زیرا موتور مزبور دارای میدل و زغال دینام، که منشأ تولید جرقه اند، نمی باشد. معهداً بر روی این مخازن یک برچسب اخطار الصاق می شود که در آن به مصرف کننده هشدار داده می شود که کلیه تجهیزات الکتریکی ای که در محیط های رنگ پاشی به کار می روند دارای خطرهای ویژه ای هستند.

در نوع دیگری از این مخازن رنگ پاش نیز نظیر نوع اول از یک سیم برق استفاده شده است ولی به دلیل آنکه در آن از یک موتور AC/DC پر سرعت و یک پمپ نوع دیسکی استفاده شده است از وزن کمتری برخوردار است. موتور AC/DC نیاز به میدل و زغال دینام دارد، که هردوی آنها موجب جرقه می شوند. بر روی مخزن های نوع

۱۶

دوم نیز برچسب اخطاری الصاق شده است که شبیه برچسب الصاقی بر روی موتورهای نوع اول است، ولی در عین حال در برچسب موتورهای نوع دوم این نکته اضافی نیز تصریح شده است که از مخازن نوع دوم نباید برای رنگ هایی استفاده شود که در آنها از تینرهای فرار و اشتعال پذیری نظیر بنزین سنگین ( نفتا ) استفاده شده است. دفترچه دستورالعمل استفاده از دستگاه مزبور شامل نکات اخطاری و هشدارهایی با جزئیات کامل است.

یکی از نقاشان، یکی از مخازن رنگ پاشی نوع اخیر را قرض گرفته بود. به منظور تمیز کردن دستگاه، او بخشی از آن را با تینر رقیق کننده رنگ پر کرده و آن را به کار انداخت. بر اثر این کار، دستگاه رنگ پاش آتش گرفت و با گسترش آتش، نقاش دچار سوختگی شدید شد. دفترچه دستورالعمل کار با دستگاه در داخل جعبه مقوایی جلد مخزن قرار داشت، ولی نقاش آن را نخوانده بود. یکی از دلایل این امر آن بود که نقاش فردی بود که اخیراً به ایالات متحده مهاجرت کرده بود و نمی توانست متون به زبان انگلیسی را بخوبی بخواند. با این وجود، وی قبلاً از دستگاه های رنگ پاش نوع اول استفاده کرده و همین کار را با این دستگاه انجام داده و دچار این حادثه نشده بود. پیامهای هشدار روی هر دو دستگاه تا اندازه ای بسیار شبیه هم بود. آیا شما ادامه فروش مخازن رنگ پاش نوع دوم را از نظر اخلاقی مشکل دار می دانید؟ سازنده این دستگاه نوظهور و سبک وزن چه باید بکند؟ در پاسخ به این سؤال باید به این واقعیت توجه داشت که قوانین حقوقی حاکم بر دادگاه ها، نصب برچسب اخطار بر روی محصولات معیوب یا نصب این اخطارها در محل فروش آنها را توجیهی برای عیوب پنهان طراحی نمی دانند. مجوزهای آگاهانه می باید مبتنی بر یک درک کلی تر باشند و این امر از طریق برچسب های اخطاری به خریدار منتقل شده و وی نیز آگاهی کافی در این خصوص را کسب کند.

### ۵-۳- جزیره سه مایلی، چرنوبیل، و خروجی های ایمن

با پیچیده تر شدن سیستم های مهندسی بشر، کارکردن با آنها نیز مشکل تر می شود. همانگونه که چارلز پرو نیز اظهار می دارد، سیستم های سنتی ما دارای رکود و فرجه کافی هستند. این امر آنها را قادر می سازد که نقایص انحرافات آنها بتوانند با گذشت زمان تصحیح شوند.<sup>(19)</sup> امروزه او خاطر نشان می سازد که زیرسیستم ها به گونه ای در درون سیستم های کلی پیچیده تر قرار گرفته و مستحکم با آنها جفت شده اند که نمی توان یک جریان را به صورتی کاملاً ایمن تغییر داد مگر آنکه بتوان آن را هم صحیح و هم سریع انجام داد. اغلب اتفاق می افتد که عملکردهایی که کاربران به عنوان اصلاح کننده می شناسند و لذا آن را اجرا می کنند می توانند وضعیت را از آنچه که هست بدتر سازند زیرا کاربران نمی دانند که مسئله چیست. به عنوان مثال، در حادثه ای که در جزیره سه مایلی رخ داد، و ما بعداً در مورد آن بحث خواهیم کرد، یک چاپگر می باید بسیاری از اخطارها را ثبت می کرد. ولی این چاپگر در هنگام نشان دادن وقایع، به میزان ۲/۵ ساعت عقب افتاد.

طراحان امیدوارند که با دور ساختن عوامل انسانی از گردنۀ عملیات در حین حواث غیر مترقبه ، و به کمک مکانیزه کردن عملکردهای انسانی ، تأمین ایمنی بیشتری را تضمین کنند . سیاست های کنترلی مبتنی بر قواعد از پیش تعیین شده اند . این امر نیز به نوبۀ خود موجب بروز مشکلات چندی می شود . دلایل این امر عبارتند از :

(۱) همه حواث قابل پیش بینی نیستند .

(۲) حتی آن حواثی نیز که قابل پیش بینی اند توسط طراحان انسانی ای که مستعد خطا هستند برنامه ریزی می شوند .

به علاوه ، یکی دیگر از مشکلاتی که می تواند در این زمینه بروز کند آن است که سیستم مکانیکی مزبور از کار بیفتد و کاربر مجبور باشد سریعاً تصمیم گرفته و کامپیوتر را تعویض نماید .

خطاهای انسانی کاربران دلیل عمدۀ حواث رآکتورهای هسته ای جزیره سه مایلی و چرنوبیل بودند . در پس این خطا یک نقص جدی و عمده در هر دو تأسیسات خود را نشان داد: عدم تدارک کافی برای تخلیه جوامع انسانی ای که در نزدیکی این تأسیسات زندگی می کردند . در بسیاری از سیستم های پیچیده و حیرت انگیزی که ما با آنها

۱۷

سرو کار داریم فقدان ایمنی یافت می شود .

### ۵-۳-۱- جزیره سه مایلی

والتر کریتس رئیس شرکت تولید نیروی اديسون پایتخت در ساسکوی هانایسن بود . وی از انتشار یک سلسله مقالات در روزنامه محلی « رکورد » که در یورک در ایالت پنسیلوانیا منتشر می شد کاملاً دلخور و ناراحت بود . در روزنامه مزبور مثالی از شرایط نایمن واحد ۲ نیروگاه اتمی جزیره سه مایلی، متعلق به شرکت تولید نیروی اديسون، درج شده بود . وی اظهاراتی را که در این روزنامه درج شده بود وارد تمی دانست و رد می کرد . از جمله این اظهارات عبارت بودند از: « این اعمال با رفتار وطن پرستانه مغایرت دارد » ، و « بی پروایی در عدم رعایت ایمنی در این نیروگاه را می توان با گشودن آتش در یک تئاتر شلوغ مقایسه کرد » . چند روز بعد بروز یک نقص فنی کوچک در این نیروگاه موجب آن شد که یک سلسله حواث اتفاق بیفتد و نام جزیره سه مایلی ( TMI ) را زبازند خاص و عام در دنیا نماید. (20)

آنچه که در این نیروگاه اتفاق افتاده را می توان مختصراً به صورت زیر بیان کرد : (21)

در ساعت ۴:۰۰ بامداد روز ۲۸ مارس ۱۹۷۹، واحد ۲- TMI تحت کنترل خودکار، با قدرت ۹۷ درصد قدرت اسمی خروجی آن، در حال کار بود. مدت ۱۱ ساعت بود که یک تیم تعمیراتی در حال رفع یک اشکال کوچک بودند که پس از هر بار رفع مجدداً بروز پیدا می کرد . به منظور تمیز کردن آبی که از کندانسور بخار شماره (۱۲) به ژنراتور بخار شماره (۳) بر می گشت، در چندین دستگاه نمک زدایی از آب ( که در شکل ۵-۶ ، با شماره ۱۴ مشخص شده است ) از دانه های رزین استفاده شد. بعضی از این دانه ها موجب مسدود شدن لوله رزینی شدند که دستگاه نمک زدایی از آب را به مخزنی که در آن رزینها مجدداً احیا می شدند متصل می کرد . هنگام شستشوی لوله مزبور با آب ، شاید به اندازه یک فنجان آب به داخل یکی از لوله های هوا، که ذرات رزین را از مخزن احیای آن پاک می کرد، برگشت پیدا کرده بود. ولی لوله هوای مزبور به سیستم هوایی متصل بود که در عین حال در مکانیسم کنترل شیرهای فلکه بزرگ در محل خروجی دستگاه نمک زدایی از آب نیز به کار می رفت. نتیجه این امر آن شد که شیر فلکه های مزبور به گونه ای غیر قابل انتظار مسدود شدند.

بر اثر قطع جریان آب در حلقه دوم (۲۶)، همه پمپهای تقطیر افزایش دهنده فشار، بجز یکی از آنها، خاموش شدند. این امر نیز موجب خاموش شدن پمپهای آب مصرفی اصلی (۲۳) و توربین (۱۰) شد. پس از آن، یک سیستم اضطراری خودکار ، پمپهای کمکی آب مصرفی (۲۵) را به کار انداخت . ولی در شرایطی که توربینها کار نمی کردند، آب خروجی کافی برای کاهش دمای سیستم، که بر اثر فرآیند شکافت هسته ای در هسته رآکتور گرم شده بود، وجود نداشت . فشار داخل رآکتور به بیش از ۲۲۰۰ پاوند بر اینچ مربع رسید، که این امر موجب باز شدن یک شیر

فشار شکن (۷) شد. سپس علامت اخطار SCRAM ظاهر شد. در نتیجه این امر میله های کنترل به داخل هسته رآکتور پایین آورده شدند تا فرآیند اصلی شکافت هسته ای را متوقف سازند.

باز شدن شیر فلکه مزبور موجب آن شد که سیستم موفق به کاهش فشار بشود و مجدداً بتواند بسته شود. در سیم پیچ این شیر فلکه جریان برق جاری نبود و کاربرها نیز از طریق چراغهای تابلوی کنترل آگاهی لازم را از جریان امور کسب می کردند. ولی یک چیز اشتباه از کار در آمد: شیر فلکه مزبور باز باقی ماند، و این خلاف آن چیزی بود که تابلوی کنترل نشان می داد. به جز این یک مورد اشکال، سایر موارد به صورت خودکار به همان صورتی بود که در نظر گرفته شده بودند. البته وقتی می گوئیم سایر موارد، باید به یک مورد اشکال مهم دیگر نیز اشاره کنیم. پمپهای کمکی (۲۵) که به صورت خودکار شروع به کار کرده بودند نتوانستند آب مصرفی کمکی را تأمین کنند زیرا شیر فلکه های توپی (۲۴) را که دو روز پیش تعمیرکاران بر روی آنها کار کرده بودند، سهواً بسته نگاه داشته بودند. عدم وجود آب مصرفی در حلقه (۲۶) موجب آن شد که ژنراتور بخار (۳) به صورت خشک جوش بیاورد. در این زمان عملاً هیچگونه دفع و جذب گرما از رآکتور، بجز در شیر فشار شکن، صورت نمی گرفت. آب با

۱۸

سرعت ۲۲۰ گالن در دقیقه از آن بیرون می ریخت. رآکتور هنوز خنک نشده بود، و حتی علی رغم آنکه میله های کنترل واکنش شکافت هسته ای را قطع کرده بودند، معهداً گرمای زیادی در داخل رآکتور وجود داشت که ناشی از تداوم تجزیه عناصر رادیواکتیو موجود در محصولات پسماند و اضافی بود.

فقدان آب در رآکتور موجب آن شد که یک دسته از پمپها، مستقر در محل ۱۵، به صورت خودکار شروع به کار نماید؛ کاربران نیز یک دسته دیگر از پمپها را به کار انداختند تا به سرعت آب مصرفی مورد نیاز برای هسته رآکتور را تأمین نمایند. مدت کمی پس از آن، سیستم کاملاً اضطراری خنک کننده هسته رآکتور، در پاسخ به فشار کم رآکتور به کار افتاد. فشار کم رآکتور می تواند موجب افزایش تشکل حباب های بخار بشود که این امر خود نیز موجب کاهش راندمان انتقال حرارت از سوخت هسته ای به آب می شود ( شیر فشار شکن در بالای سیستم تأمین فشار قرار می گیرد). سطح مایع در سیستم تأمین فشار نیز به عنوان یک شاخص و تنها شاخص برای اندازه گیری سطح آب در رآکتور به کار برده شد.

بخار موجود در مخزن رآکتور موجب آن شد که سطح مایع در سیستم تأمین فشار بالا بیاید. کاربران فکر می کردند که مسئله را حل کرده اند و اکنون آب زیادی در رآکتور موجود است، لذا سیستم اضطراری خنک کننده هسته رآکتور و نیز همه پمپهای اضطراری، به جز یکی از آنها، را خاموش کردند. این امر موجب آن شد که آب با سرعت ۱۶۰ گالن در دقیقه از رآکتور خارج شده و در نتیجه فشار کاهش یابد. در این زمان نیز آنها هنوز از آبی که از طریق شیر فشار شکن به بیرون در می رفت آگاه نبودند. در واقع، آنها مقداری نشستی را در نظر می گرفتند و فرض آنها این بود که این نشستی ناشی از ضعف سطح نشیمنگاه شیر فلکه، حتی تحت شرایط متعارف است. همین امر موجب آن شد که آنها به دمای بالایی که در لوله ها قرائت می شد ( بالاتر از موقعیت ۷ ) بی توجه باشند.

حبابهای بخار در آب رآکتور بیشتر سطح سوخت را پوشانیدند و قسمت فوقانی میله های سوخت شروع به خرد شدن کردند. واکنش شیمیایی بین بخار و یک آلیاژ زیرکونیوم، که اجزای مخزن سوخت را می پوشانید، موجب تشکیل اکسیژن شد. مقداری از این اکسیژن ها به داخل سازه مخزن، یعنی جایی که انفجار رخ داد، وارد شدند.

هنگامی که دو ساعت پس از بروز این وقایع اولیه، پرستل شیفت بعدی وارد محل کار شده و کار خود را شروع کردند، موقعیت به گونه ای بحرانی و وحشتناک درآمد. شیفت جدید که به شرایط به گونه ای خوشبینانه نگاه می کردند استنباطشان این بود که شیر فشار شکن باز است، لذا آنها شیر فلکه توپی واقع در خط فشار شکن را بستند. مدت کمی پس از آن، هنگامی که میزان تشعشع در مخزن افزایش یافت، یک صدای اعلام خطر عمومی به گوش شنیده شد. با کمیسیون کنترل و تنظیم هسته ای (NRC)، و نیز با شرکت باباکاک و ویلکاکس که تجهیزات رآکتور را ساخته بودند تماس تلفنی گرفته شد، ولی در دفتر اداره NRC در ناحیه مزبور کسی برای پاسخگویی به تلفن حاضر نبود و لذا یک پیام تلفنی بر روی پیام گیر آنها گذاشته شد. رئیس آتش نشانی منطقه، از طریق اخبار

روزنامه عصر شرایط اضطراری آگاه شد. ضمناً، یکی از پمپ‌ها آب خروجی از ساختمان مخزن اصلی را به جای آنکه به مخزن نگهدارنده در نظر گرفته شده ببرد، آن را به ساختمان کمکی مجاور منتقل می‌کرد. به دلیل ترکیده شدن یکی از دیسک‌ها آب بر روی کف طبقه جمع شده بود. هنگامی که نشانه‌هایی حاکی از وجود میزان نسبتاً زیادی اشعه در اتاق کنترل مشاهده گردید تخلیه این اتاق ضروری شد، لذا بجز تعدادی از پرسنل اصلی که به ماسک‌های تنفسی مخصوص مجهز شدند، بقیه آنان در قسمت پشت اتاق مزبور جای داده شدند. ماسک‌های تنفسی مزبور ارتباط بین پرسنل را مشکل می‌کرد.

به یکباره کار بران تصمیم گرفتند که پمپ‌های انرژی‌پرفشار را دوباره روشن کنند. هدف آنها از این کار این بود که سیستم خودکار به راه افتاده و همه چیز به حالت متعارف خود درآید. هسته راکتور بار دیگر با آب پوشانیده شد، به گونه‌ای که هنوز مقداری حباب بخار و هیدروژن به صورت رقیق در محیط وجود داشت. سیزده و نیم ساعت پس از شروع حادثه، باز هم امیدی برای تحت کنترل درآوردن راکتور وجود داشت. با این وجود، پیچیدگی شرایط واقعی امر، به مدت چندین روز ادامه داشت.

۱۹

در سطح ملی، مردم این واقعه را از طریق پوشش خبری آن توسط تلویزیون دنبال می‌کردند. آنها به سازمانهای مسئول بی‌اعتقاد شده بودند و عقیده داشتند که این سازمانها در این واقعه عدم آمادگی خود را هم از نظر اداره راکتور و هم از نظر برنامه تخلیه پرسنل و مردم به نمایش گذاشته‌اند. حال که سالها از آن حادثه گذشته است می‌توان هنوز اخباری در مورد تداوم انباشت هزینه ناشی از این حادثه شنید. این هزینه‌ها ناشی از تعطیل شدن نیروگاه، تخلیه سوخت اتمی از محل نیروگاه، پاکسازی محیط از آلودگی‌های هسته‌ای، و دفن مواد زائد هسته‌ای واحد دوم TMI است که تاکنون بالغ بر یک میلیون دلار بوده است، که یک سوم این مبلغ تاکنون مستهلک شده است. ۷۰۰ میلیون دلار نیز هزینه ساخت نیروگاه است. حادثه جزیره سه مایلی علاوه بر وارد آوردن خسارت مالی، موجب ضربه به اعتبار و حیثیت این صنعت نیز شد. خوشبختانه در این حادثه، نشت رادیو اکتیو کم بود، و طبق گزارشها آهنگ رشد سرطان فقط به مقداری جزئی بیشتر از حد معمول بود. پاکسازی راکتور در ماه اوت ۱۹۷۹ شروع و در دسامبر ۱۹۹۳ با هزینه ۹۷۵ میلیون دلار به پایان رسید. ساخت راکتور دیگر این نیروگاه (TMI-1) نیز مجدداً در سال ۱۹۸۵ شروع شد. در پی این حادثه، مالکیت نیروگاه نیز تغییر کرد.

### ۵-۳-۲- چرنوبیل

مجتمع نیروگاهی اتمی چرنوبیل، در نزدیکی کی‌یف اوکراین قرار دارد. این نیروگاه در سال ۱۹۸۶ دارای چهار راکتور بود. (22) طبق برنامه‌ریزی‌های انجام شده، عملیات احداث راکتورهای ۵ و ۶ نیز در دست ساخت بود. با تکمیل این راکتورها، این مجموعه، با تولید ۶۰۰۰ مگاوات انرژی الکتریکی، دومین مجتمع نیروگاهی تولید برق در جهان به حساب می‌آمد. راکتورها از نوع موسوم به RBMK بودند. در این نوع راکتورها برای خنک کردن، از گرافیت و لوله‌های فشاری آب جوش استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۸۵، در مجله «زندگی در شوروی»، که به زبان انگلیسی منتشر می‌شد، چرنوبیل و برنامه شوروی در زمینه انرژی هسته‌ای به روشنی اعلام و بررسی شده بود. در مقالاتی که در این زمینه در مجله مزبور منتشر شد، ایمنی انرژی اتمی و خطرپذیری کم ناشی از حوادث آنها و قرارگیری در معرض تشعشع اعلام و بیان گردید. پس از وقوع یک آتش‌سوزی مهیب در این نیروگاه، نام "چرنوبیل" در دنیا بر سر زبانها افتاد.

در ۲۵ آوریل ۱۹۸۶، آزمایشهایی بر روی راکتور شماره ۴ در حال انجام بود. هدف از این آزمایشها آن بود که تعیین کنند در صورتی که منبع تأمین بخار (شکل ۵-۷) از کار بیفتد، اینرسی مکانیکی جرم دورانی توربین ژنراتور تا چه مدتی می‌تواند ژنراتور را بچرخاند و تولید انرژی الکتریکی کند. این امر از اهمیت و ویژگی خاصی برخوردار بود زیرا در صورتی که بر اثر نقص فنی شبکه نیروگاهی این امکان فراهم آید که ارتباط ژنراتورها به صورت ناگهانی قطع شود، در آن هنگام پمپ‌های خنک کن راکتور و سایر ماشین‌آلات الکتریکی حیاتی نیروگاه بتوانند به کار خود ادامه

دهند. در اینگونه مواقع ژنراتورهای دیزلی ویژه‌ای در نیروگاه وجود داشتند که بتوانند فوراً به‌کار افتاده و انرژی اضطراری نیروگاه را تأمین کنند، ولی نمی‌توان اطمینان داشت که این واحدهای دیزلی بتوانند فوراً به‌کار بیفتند. این آزمایش، جزئی از برنامه زمان بندی شده تعطیلی نیروگاه به‌منظور تعمیرات کل آن بود. نیروگاه حرارتی راکتور RBMK به ۳۶۰۰ مگاوات نیرو نیاز دارد تا بتواند ۱۲۰۰ مگاوات در ژنراتور خود نیرو تولید کنند. میزان خروجی واحد ۴ را به‌تدریج کاهش داده و از ۳۲۰۰ مگاوات (حرارتی) به ۱۶۰۰ مگاوات رسانیدند و قرار بود آن را باز هم به آرامی کاهش داده و به‌حدود ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ مگاوات برسانند، ولی در ساعت ۲:۰۰ بعداز ظهر، مسئول کنترل توزیع نیرو در کیف تقاضا کرد که به‌منظور برآوردن یک نیاز پیش‌بینی نشده، خروجی را کاهش نداده و در همان سطحی که بود نگه دارند. معنای این امر، به‌تعمیق انداختن آزمایش مزبور بود. به‌منظور انجام آزمایش، کاربران راکتور، ارتباط سیستم خنک کننده هسته راکتور را قطع کرده بودند به‌گونه‌ای که مصرف نیروی آن تأثیری بر روی نتایج آزمایش نمی‌گذاشت. این، اولین مورد از تخلفات ایمنی فراوانی بود که رخ داد.

۲۰

یکی دیگر از خطاها هنگامی رخ داد که یکی از وسائل کنترلی به‌خوبی تنظیم نشده بود که بتواند سطح توان را در محدوده ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ مگاوات نگه دارد. هنگامی که در ساعت ۱۱:۱۰ بعداز ظهر به نیروگاه اجازه داده شد که نیرو را کاهش دهد، نتیجه آن شد که خروجی نیروگاه به ۳۰ مگاوات رسید. در این شرایط کنترل نیروگاه مشکل است. کاربران، به‌جای خاموش کردن راکتور، سعی کردند که از طریق بلند کردن میله‌های کنترل و در نتیجه افزایش نیرو، به‌انجام آزمایش ادامه دهند. این کاربران به‌جای آنکه طبق ضوابط و الزامات فنی، ۱۵ عدد میله کنترل را به‌همان صورت قبلی نگه دارند، تقریباً تمامی میله‌های کنترل را بلند کردند. دلیل آنها برای این کار آن بود که هنگامی که توان نیروگاه در سطح پایینی قرار داشته باشد، سوخت نیروگاه به‌علت تولید گزنون - ۱۳۵ و جذب نوترن سمی می‌شود.

اگرچه توان خروجی نیروگاه در سطح ۲۰۰ مگاوات است. به‌منظور نگهداری تعادل بخار و آب موارد دیگری نیز به‌صورت دستی تنظیم شوند. علاوه بر آن، «کاربران در این هنگام دریافتند که به‌دلیل ناپایداری در این راکتور و همچنین تولید گزنون سمی، راکتور به‌یکباره خاموش شده است و آنها می‌باید مدت زیادی برای شروع به‌کار مجدد آن صبر کنند».<sup>(23)</sup> لذا از آنجا که آنان مصمم به‌حذف بار الکتریکی بودند تصمیم به ادامه انجام آزمایش گرفته و به‌علت اختطاری اضطراری توجه نکرده و از عملکرد سیستم‌های کنترلی قطع اتوماتیک جلوگیری کردند.

همانطور که بعداً «وارلی لگاسف و دولت شوروی در گزارش خود از حادثه، به‌کمسیون بین‌المللی انرژی اتمی (IAEC) اعلام کردند: موارد فوق موجب شد که راکتور در یک شرایط ناپایدار و پادر هوا باقی بماند و «راکتور به‌صورتی کاملاً آزاد برای هرگونه عملکرد درآمده و از جهان خارج بریده بود، میله‌های کنترل آن بیرون زده شده و ارتباط سیستم ایمنی آن قطع شده بود» و به عبارتی دیگر «راکتور هرکار دلش می‌خواست می‌توانست انجام دهد».<sup>(24)</sup>

در ساعت ۱:۲۳ بامداد انجام آزمایش شروع شد. هنگامی که شیرهای بخار بسته بود و بار به‌طور موثری برداشته شده بود، توان راکتور و دمای آن به شدت بالا رفت. برخلاف راکتورهایی که با آب خنک می‌شوند، راکتورهای RBMK، که با گرافیت خنک می‌شوند، از آب فقط به‌عنوان یک‌ماده انتقال دهنده حرارت، و نه خنک کننده استفاده می‌کنند. با داغ‌تر شدن هسته راکتور، شکافت اتمی نیز افزایش می‌یابد. این تأثیر بازخورد مثبت موجب آن شد که توان راکتور شماره ۴ چرنوبیل، از ۷ درصد تا صدها برابر توان حرارتی اسمی آن تغییر کند: «تأثیر این امر، معادل انفجار یک تن TNT در هسته راکتور بود... سوخت فرصتی برای ذوب شدن نداشت... لذا خرد شده و به قطعاتی تبدیل شد».<sup>(25)</sup> سوخت، که روکش خود را از دست داده بود، در تماس با آب قرار گرفت. انفجار دوم (که بسیار شبیه به یک انفجار بخار بود) رخ داد. این انفجار موجب آن شد که پوشش بتنی ۱۰۰۰ تنی طبقه، که راکتور را از سطح سوختگیری بالای آن جدا می‌کرد، بلند شده و در جای دیگری بر زمین بخورد. پوشش زیرکونیوم روی

میله‌های سوخت، با آب در حال گردش واکنش متقابل داده و تشکیل هیدروژن دادند. این امر باعث شد که یک نمایش آتش‌بازی عظیم صورت گیرد. جریانی از گرافیت و سوخت برافروخته و داغ بر روی محوطه کارخانه ریخت و در عین حال شعله مواد رادیو اکتیو نیز بر اثر حرارت به آسمان زبانه می‌کشید.

آنچه که در پی حادثه به وقوع پیوست، نا بخشودنی تر از عواملی بود که موجب بروز حادثه شده بودند. علی‌رغم آنکه در این حادثه تعدادی از آتش نشانان دلیر جان خود را برای مهار آتش و زبانه شعله‌های آن از دست دادند، ساعتها طول کشید که به جمعیت اطراف نیروگاه اخطار لازم را بدهند. فقط هنگامی که کاربران هوشیار هسته‌ای سوند متوجه افزایش میزان رادیواکتیو در آنجا شدند، مسکو دریافت که یک امر اشتباه و نامتعارفی روی داده است. جمهوری‌های شوروی و نیز سایر کشورهای اروپایی آماده برخورد و مدیریت این حادثه عظیم، به‌ویژه از نظر گسترش رادیواکتیو نبودند. بسیاری از کشورها از اینکه کشور شوروی آنان را با خبر نکرده بود این کشور را مورد ملامت قرار دادند، ولی خود این کشورها نیز ابزاری برای تعیین میزان رادیواکتیو، حتی برای کنترل نیروگاه‌های هسته‌ای خود، در اختیار نداشتند. دستورالعمل‌های بعدی در مورد چگونگی رفتار در مواردی نظیر نوشیدن شیر، خوردن

۲۱

سبزی‌ها، امکان‌پذیر بودن بازی کودکان در محوطه خارج از منزل، و سایر مواردی که به‌زندگی انسانها در اروپا بستگی داشت، بیش از هر چیز به تمایل و مواضع سیاسی کشورها به موضوع هسته‌ای، و نیز به جانبداری یا تقابل دستگاه‌های بهداشتی آن کشورها نسبت به امور هسته‌ای بستگی داشت.

در حدود ۲۰۰ تن از کارگران نیروگاه چرنوبیل بر اثر تشعشع شدید همراه با سوختگی به شدت بیمار شدند. ۳۱ تن از این افراد مدت بسیار کمی پس از حادثه درگذشتند. تا سال ۱۹۹۲ تعداد موارد مرگ ناشی از تشعشع شدید، که به حادثه چرنوبیل مرتبط بود، فقط در اوکراین از مرز ۶۰۰۰ تن فراتر رفت، و در بلاروس نیز بسیاری از کودکان دچار بزرگ شدن غده تیروئید خود شدند و تعداد افراد سرطانی ۱۰۰۰۰ نفر بیش از میزان متعارف قابل انتظار بود.<sup>(۲۶)</sup> ۱۲ ساعت پس از وقوع انفجار، ۱۰۰۰ خانواده‌ای که در یک شهرک کارگری در یک مایلی نیروگاه زندگی می‌کردند از آنجا تخلیه شدند، ولی نیروگاه در قبال انسانهایی که فراتر از شعاع ۱/۵ مایلی بودند هیچ مسئولیت یا پیوندی احساس نکرد. تخلیه «پریپیات» و ۷۱ روستایی که در ۱۸ مایلی نیروگاه قرار داشتند از روز بعد آغاز شد. ۱۳۵،۰۰۰ نفر از مردم می‌باید با اتوبوس و کامیون از آنجا انتقال می‌یافتند. برای اسکان افرادی که از این امکان انتقال می‌یافتند روستاهای متعددی ساخته شد. دولت به دلخواه خود میزان تشعشع جدیدی را به‌عنوان میزان تشعشع «ایمن» در نظر گرفت که ۱۰ برابر میزان قبلی بود. دولت با این کار، خود را از زیر بار مسئولیت تخلیه ۱/۲۵ میلیون نفر دیگر از نواحی اطراف نیروگاه و نیز پذیرش مسئولیت اقدامات درمانی تعداد بیشمار دیگری از افراد که در معرض تشعشع قرار گرفته بودند رها کرد. با این وجود، در عین حال که مقامات عالیرتبه دولتی بسرعت خانواده‌های خود را به نواحی بسیار دورتر از کی یف منتقل می‌کردند، دولت از مردم می‌خواست که خود را برای برگزاری جشنها و تظاهرات دولتی آماده سازند.

تأثیرات کوتاه مدت و بلند مدت تشعشع مزبور بر روی مردم و حیوانات و به طور کلی محیط زیست اروپا سالهای زیادی است که به‌طور وسیع مورد بحث قرار می‌گیرد. هفت سال پس از وقوع حادثه روشن شد که تشعشع ساطع شده بیش از آن میزانی است که قبلاً تخمین زده شده بود. دلیل این امر آن بود که اشعه سرخ تابشی شعله راهنما، ناشی از نمونه‌هایی از ماسه و رس و دولومیت بود که نه از محل رآکتور بلکه از ۵۰ فوتی (۱۵ متری) آن برداشته شده بود. همچنین به دلیل آنکه محصولات کشاورزی (شیر و گوشت) حاصل از مناطق تحت تشعشع به سایر نواحی شوروی صادر و با محصول غیر آلوده قاطی شده بود، آلودگی‌های حاصل از تشعشع گسترش یافته بود.

پس از وقوع حادثه، رآکتور مزبور را با یک محفظه بتنی پوشش دادند، ولی این محفظه کاملاً کیپ و غیر قابل نفوذ نبود، لذا می‌باید آن را تعویض می‌کردند. ناگهان برخی دیگر از رآکتورهای نیروگاه نیز دچار مشکل شدند. این امر منجر به آن شد که دولت شوروی ( و پس از فروپاشی شوروی، دولت اوکراین) با حمایت های مالی بین‌المللی کل نیروگاه را تا پایان سال ۲۰۰۰ جمع‌آوری کرد.

## ۵-۳-۲- دستاوردهای ایمنی

ساخت یک محصول ایمن یا محصولی که هیچگاه دچار حادثه نشده و از بین نرود تقریباً غیر ممکن است. بهترین کاری که می‌توان کرد این است که مطمئن شویم که هنگامی که محصول دچار حادثه می‌شود یا از بین می‌رود: (۱) این امر توأم با حفظ و تأمین ایمنی صورت می‌گیرد، (۲) محصول را بتوان به‌صورتی ایمن کنار گذارد، و یا حداقل: (۳) مصرف کننده بتواند به‌گونه‌ای ایمن از محصول فرار کرده و دور شود. ما سه شرط فوق را «دستاوردهای ایمنی» می‌نامیم. هنوز روشن نیست که مسئول تأمین «دستاوردهای ایمنی» کیست. ولی قطع نظر از این سؤالات که چه کسانی یک سیستم تأمین کننده دستاوردهای ایمنی را می‌سازند، راه‌اندازی می‌کنند، تعمیر می‌کنند و هزینه آن را می‌پردازند، سؤال اصلی و اساسی دیگر این است که چه کسی نیاز به دستاوردهای ایمنی را تشخیص می‌دهد.

دیدگاه ما این است که تأمین شرایط نیل به دستاوردهای ایمنی، بخش مکمل ولاینفکی از هرگونه فعالیت عملی و

۲۲

تجربی است و به عبارت دیگر می‌توان آن را مهندسی تأمین سلامتی نامید. هرگونه فعالیت عملی باید به‌گونه‌ای صورت گیرد که موجب صدمات جسمی یا خسارات مالی نشود. «در هر زمانی که ایمنی به‌خطر بیفتد، کار باید متوقف شود». مسئولیت کامل این امر را نباید بر عهده یک مهندس، به‌تنهایی، انداخت بلکه از مهندس ایمنی این انتظار می‌رود که در هر هنگام که شرایط تأمین ایمنی وجود ندارد اخطارهای لازم را صادر یا کار را تعطیل کند. تنها شرط ادامه کار این است که کلیه افراد حاضر در محل کار، از جمله انجام دهندگان کار، مجوز ایمنی معتبر را دریافت کرده باشند.

در اینجا به چند مثال در این مورد اشاره می‌کنیم. در کشتی‌ها باید قایقهای نجات به تعداد کافی برای همه مسافران و نیز خدمه کشتی وجود داشته باشد. در ساختمانها نیز باید خروجی‌های فرار از آتش، که در هر زمان قابل استفاده باشند، وجود داشته باشد. راه‌اندازی یک نیروگاه اتمی ایجاب می‌کند که شرایط عینی برای تخلیه انسانهای حاضر در محدوده و نزدیکی نیروگاه موجود باشد. مثالهای فوق، همگی حاکی از ضرورت وجود و تأمین ایمنی برای مردم است. همچنین باید برای دفع ایمن محصولات و مواد خطرناک از محیط تمهیدات لازم اندیشیده شود: به‌طور کلی می‌توان گفت که برخی از حوادث ناشی از تصادف کامیونها و یا خارج شدن قطارها از ریل موجب آن شده است که مردم د معرض گازهای سمی قرار گیرند. همچنین در داخل بسیاری از زباله‌ها مواد سمی‌ای وجود دارد که می‌تواند آبهای زیر زمینی را آلوده کند و یا دست زدن کودکان به آنها موجب مسمومیت و صدمه آنان شود. نهایتاً باید گفت که گاهی اوقات ممکن است ادامه یک فعالیت به‌صورت متداول آن موجب بروز خطر شود و در این هنگام جلوگیری از بروز خطر در عین ادامه فعالیت ممکن است ایجاب کند که آن را از روشهای مقیدتر یا از طریق گزینه‌های دیگر انجام دهیم. مثالهایی از این دست عبارتند از: سیستم‌های پشتیبان در بانکهای اطلاعات کامپیوتری، سیستم‌های کنترل آلودگی هوای ناشی از رفت و آمد وسایل نقلیه، سیستم‌های درمانی خودکار در پزشکی، و تأمین دائم منابع آب برای آتش‌نشانی.

محصولات باید با دقت زیاد و از طریق انجام آزمایشها به‌گونه‌ای طراحی شوند که ایمنی لازم را فراهم آورند. کلیه خطرهای بالقوه هر محصول را باید قبل از ارائه آن به مصرف‌کنندگان، از طریق آزمایش، شناسایی کرده و برای آن تمهیداتی اندیشید. ولی علاوه بر آن لازم است که مصرف کننده روشهای تعمیرات منظم و کنترلهای محصول از نظر ایمنی را بداند. علاوه بر موارد فوق باید شرایط زیر نیز فراهم شود:

- (۱) باید محلهایی وجود داشته باشد که کارکنان هنگام برخورد به‌شرایط و موارد خطرناک در زمینه‌های طراحی محصول یا استفاده از آن، بتوانند بدون مشکل و زحمت یا بدون سرو صدا آن را آزادانه گزارش دهند، (۲)
- (۲) روشهای اضطراری مبتنی بر مهندسی عوامل انسانی وجود داشته باشد که کنش و واکنش مردم در هنگام قرار گیری تحت شرایط سخت و تنش‌زا، همانگونه که در حادثه TMI رخ داد، را نیز به‌حساب آورند.

## سئوالات مباحثه‌ای

۱- مشابهت‌ها و تفاوت‌های اصلی بین جزیره سه مایلی و چرنوبیل از نظر خودتان را شرح داده و در مورد آنها بحث کنید.

۲- می‌گویند که حادثه جزیره سه مایلی به ما خطرات ناشی از توان هسته‌ای را نشان داد، و متوقف شدن صدور نفت اعراب نیز خطرات ناشی از نداشتن انرژی را نمایان ساخت. فشار بازار بر روی محصولات یا خدمات خطرناک به صورتی بحرانی درآمده است و راه را بر روی قدرت انتخاب افراد یا کشورهایی بسته است که هم اشتیاق روز افزونی برای این محصولات یا خدمات دارند و هم اینکه یا در حال حاضر تحت تأثیر خطرات ناشی از این محصولات قرار دارند و یا اینکه میزان خطرات وارد بر آنها بیش از میزان مشارکت آنها است، بدون اینکه هیچیک از آنان سودی در این امر داشته باشند. نهایتاً "اینکه پیشاهنگان همواره خود را در معرض خطر قرار می‌دهند. بدون خطرپذیری هیچگونه پیشرفتی وجود ندارد. در مورد «خطرات ناشی از عدم پذیرش خطر» بحث کنید.

۲۳

۳- برنامه‌های خود را برای تخلیه انسانهای ساکن در نزدیکی نیروگاه‌های اتمی یا کارخانه‌های صنایع شیمیایی ارائه دهید، و با استفاده از آن در مورد مفهوم دستاوردهای ایمنی بحث کنید.

۴- وارلی لگاسف، که یک مهندس علوم هسته‌ای بود، بعداً "نماینده شوروی در IAEC شد. وی نقش مهمی در مهار آتش راکتور چرنوبیل ایفا کرد. وی اظهار داشت که خطاهای انسانی موجب بروز این حادثه شد، و اگر ما پیش از این به تکنولوژی ایمنی به‌عنوان وسیله‌ای برای حفاظت خود در برابر ماشین نگاه می‌کردیم، آنگاه اکنون می‌توانستیم از تکنولوژی در برابر خود محافظت کنیم.<sup>(28)</sup> در مورد تغییرات دیدگاه‌های لگاسف بحث کنید و بگویید که با کدامیک از اظهارات وی موافق یا مخالفید.

۵- زبانه‌های سمی را به عنوان فاجعه‌های «مجرای خانواده لاو» و «خوشه سرطانی خانواده ووبرن» می‌شناسند. به این زبانه‌ها در ایالات متحده توجه وسیعی مبذول شده و در منابع فنی و عمومی نیز مستندات زیادی در مورد آنها ارائه شده است. «خوشه سرطان ووبرن» عنوان فیلمی است که بر اساس کتابی به نام اقدامات مدنی نوشته شده است. این کتاب را «جاناتان هار» نوشته است و وی در آن تلاش‌های یک وکیل به نام «یان اشلیتس‌مان» در مورد اقدامات قضایی به نفع برخی از اعضای خانواده «ووبرن» را شرح می‌دهد. این دو مورد زبانه‌های سمی را با یکدیگر مقایسه کنید و در مورد تنگناهایی بحث کنید که در اینگونه مرافعه‌های دادخواهی، از اعلام و جریان آزاد اطلاعات مقتضی ذریع به‌عموم مردم و نیز به خواهان دعوی جلوگیری می‌کنند.

۶- اطلاعاتی را در مورد حادثه‌ای که صنعت انرژی اتمی ژاپن در خلال دهه گذشته بدان دچار شد جمع‌آوری کنید. مدیران معمولاً مسائل و مشکلات را به‌دلیل تبعات سیاسی جدی آن‌ها می‌پذیرند، ولی در مورد اخیر مدیران تأسیسات الکتریکی در موارد متعددی تصمیم گرفتند که مشکلاتی را که با آن مواجه بوده‌اند گزارش نکنند. مردم اقدام این افراد را بنا به دلایل فوق به‌عنوان خیانت تلقی می‌کنند. بنا به این دلایل بود که یکی از مهندسان آمریکایی که برای یکی از پیمانکاران جزء، شرکت جنرال الکتریک، کار می‌کرد تصمیم گرفت که نقایص را گزارش کند. وی قادر به انجام این کار بر اساس قانونی جدید تحت عنوان «حفاظت قانونی از اشخاص ثالث در زمینه ارائه اطلاعات در زمینه اشکالات موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای از طریق کاربران آنها» بود. شما برای تحقیق در این زمینه می‌توانید به سایت اینترنتی شرکت نیروی الکتریکی توکیو یا TEPCO به‌آدرس [www.platt.com](http://www.platt.com) مراجعه کنید. همچنین برای مطالعه یک بررسی موردی در این زمینه، که هیروشی یینو انجام داده است، به سایت اینترنتی [www.onlineethics.org](http://www.onlineethics.org) مراجعه کنید.

مفاهیم کلیدی

- ایمنی ( به‌عنوان میزان خطر پذیری قابل قبول) : آن میزان از خطرات ناشی از فن‌آوری، که کاملاً " شناخته شده‌اند و افراد موجه و مقبولی این خطرات را در پرتو اصول ارزشی پذیرفته شده ای به عنوان خطرات قابل قبولی در نظر گرفته‌اند.

- خطرپذیری: امکان بالقوه وقوع امری خطرآفرین، به‌صورتی ناخواسته.

- عوامل درک خطرپذیری: آیا خطرپذیری به‌صورتی داوطلبانه پذیرفته شده است؟ احتمال صدمه یا سود چگونه بیان شده است؟ شدت و میزان و قرابت صدمات شغلی کدام است؟

- تحلیل خطرپذیری - سود : انجام مطالعاتی در این زمینه که خطرات و سودمندی ها کدامند و نیز آیا انجام پروژه یا استفاده از محصول ارزش‌پذیرش خطرات ناشی از آنها را دارد یا خیر؟

- تحلیل هزینه - تأثیر گذاری : انجام مطالعات در این زمینه که کدام طرح بیشترین سود را دارد.

- دستاوردهای ایمنی: طرحها و روشهایی که به ما این اطمینان را می‌دهند که در صورت بروز خطر یا خرابی محصول، این امر به‌صورتی ایمن رخ می‌دهد و استفاده کننده از آن می‌تواند به گونه‌ای ایمن از آن محصول فرار کند.

پایان