الفصل الرابع
الالتزام بإجراءات السلامة

1 - السلامة والأخطار

كان الطيـار دان جيلـرت Dan Gellert يقود طائرة لشـركة لوكهيد للطيران الشـرقي من طراز L-1011 وكانت تجوب على ارتفاع 10 آلاف قدم عندما أسـقط خريطة الطيران من دون قصد، [1]. انحنى دان لالتقاطها وهو مطمئن أن الطائرة علـى تحكم الطيار الآلي، وفوراً نزلت الطائرة نزولاً سـريعاً حين اصـطدم سـهواً بعصا التحكم مسبباً بذلك رعباً شديداً لـ230 راكباً كانوا على متن الطائرة حينها، ولكنه سـرعان ما اسـتطاع الإمساك بعصـا التحكم وإعادة الطائرة إلى مسارها، بالرغـم من كونه مصـدوماً جداً من الحـدث، وبعد أن فقدت الطائـرة كثيراً من ارتفاعها السابق كانت مازالت قراءة مقياس الارتفاع تشير إلى 10 آلاف قدم.

وفي وقـت ليـس ببعيد عـن زمن هذه الواقعـة، بينما كان أحد زمـلاء جيلرت في تحليق تدريبي، انفصـل الطيار الآلي عن مدرب الطيران، وكانت النتيجة أنه اصطدم بالممر عند الهبوط الآلي، لحسن الحظ حدث كل هذا في محاكاة وليس في الواقع، ولكن بعدها بزمن قصير تحطمت فعلا طائرة من طراز L-1011 في أثناء هبوطها في ميامي. كان من الواضـح وجود مشـكلة في معدات الهبوط على متن هذه الطائرة، لذا تم وضع الطائرة على تحكم الطيار الآلي عند ارتفاع 2000 قدم، في حين قام الطاقم باستطلاع المشـكلة، وبعد ذلك بأربع دقائق، ودون سـابق إنذار بينما كان الطاقم مشـتت الانتباه تحطمت الطائرة على أفرجليز Everglades. حيث قضى 103 أشخاص حتفهم.

كان جيلرت يُحلق بطائرة طراز L-1011 بعدها بعام وانفصل الطيار الآلي مرة أخرى دون أي سـبب، كان من المُفترض أن تكون الطائرة على ارتفاع 500 قدم، وفي

انحداره استعدادا للهبوط، وفجأة بعد أن انقشعت السحابة التي غمرت الطائرة، أيقن جيلرت أنه على ارتفاع 200 قدم، ويُحلق فوق منطقة كثيفة السكان، فاضطر الطاقم لتشغيل كامل طاقة الطائرة للإقلاع ليصلوا إلى مدرج المطار بأمان.

تُشير وقائع الطائرة L-1011 إلى أنه كيف يُمكن للآلات وأنظمة التحكم أن تكون مُعقدة، وحساسة، وكيف يُمكن أن يحدث أي خلل بسبب ظروف غير متوقعة، وكيف أنه من الأهمية بمكان تصميم أنظمة للآلات يتفاعل معها البشر بشكل صحيح، كُلما كانت سلامة البشر في خطر. نناقش في هذا الفصل الدور الذي يلعبه الأمان كما يراه المهندسون، والعامة.

كثير من الناس لهم دور مهم في قضايا الأمان بشكل خاص، كل حسب اهتماماته وارتباطاته. إذا وضعنا في الاعتبار الآن أن هناك اختلافاً في آراء هذه المجموعات حول ما هو آمن، وما هو ليس بآمن، اتضح أن مُصطلح الأمان شديد المرونة، كما هو الحال بالنسبة لمصطلح الأخطارة، وسوف نُلقي نظرة على هذه المفاهيم الأساسية، و ننتقل منها إلى تقييم الأمان والأخطارة، والطُّرق التي تُساعد على تقليل الأخطارة. في النهاية بعد فحص حادثتي مُفاعلي الطاقة النووية في تشيرنوبل، وثري مايل آيلاند، سوف نضع تطبيقات لأنظمة هندسية مُعقدة والاحتياج التام لمخارج الأمان.

دائماً نطلب منتجات وخدمات آمنة، لأننا لا نُريد أن نكون مُهددين بأي أذى مرتقب، ولكننا أيضاً على يقين أننا مُضطرون لأن ندفع تكلفة هذا الأمان. ولكي تزيد الأمور تعقيداً، فما قد يكون آمناً لشخص ما، قد لا يكون كذلك لشخص آخر، إما بسبب اختلاف مفاهيمهم عما هو آمن، أو بسبب نظرتهم المختلفة للضرر. قد لايكون المنشار الكهربي في يد طفل آمناً على الإطلاق، ولكنه على عكس ذلك في يد شخص بالغ. قد يكون الشخص البالغ المريض أكثر ميلاً للتأثر بتلوث الهواء من نظيره السليم البنية.

إن الأمـان المُطلـق ليس سـهل المنـال، إذا حمل أي معنى من (ا) أنشـطة أو منتجـات خالية تماماً مـن الخطر، أو (ب) درجة من الأمان تُرضـي كل الأفراد، أو المجموعـات تحـت جميع الظـروف. لكنه من المهم أن نصـل لفهم ما نقصـده بالأمان.

- **مفهوم الأمان:**

أحد أسـاليب تعريف مُصـطلح الأمان، هو إرجاع المفهوم لمسـتوى شخصي لتعريفـه بأي أخطار يحكم عليها الفرد بالقبول. أعطـى مثل هذا التعريف ويليام لورانس William Lawrance في نصه "أي شيء يعد آمناً إذا كانت أخطاره مقبولة، [2]." هذا الأسـلوب يُسـاعد على تأكيـد المفهوم بأن الأحكام هـي أحكام تقييمية بشـكل ضمني للخطر المقبول لشخص، أو جماعة. إن الاختلافات في تقييم الأمان انعكاس للاختلافات في القيم.

يجـب تعديل تعريف لورانس، لأنه يبتعـد كثيراً عن فهمنا العام للأمان. هذا واضح إن اعتبرنا ثلاثة من المواقف التي يمكن مُصادفتها.

أولاً، تخيل حالة فيها اسـتخفاف بالأخطار، مثلاً كاسـتخدام محمصة خُبز كهربائية نراها مع بائع الأغراض المُسـتعملة، وعلى أسـاس وجهة النظر الخاطئة تلـك، نحكم عليهـا بأنها آمنة ونشـتريها، وعند الرجوع بها إلى المنزل وتشـغيلها قد ينتهي بنا المآل إلى المستشـفى مُصـابين بصدمة كهربية حادة، أو عدة حروق. باستخدام المفهوم العادي للأمان، نستنتج أننا كنا على خطأ في حكمنا السابق: لم تكن محمصة الخبز الكهربائية آمنة على الإطلاق. عندما نضع في الاعتبار قيمنا واحتياجاتنا، فإننا لم نكن لنحكم على أخطاره بالقبول مسبقاً، لكن طبقاً لتعريف لورانـس فإننا مُجبرون على أن نقول: إنه قبل الحادث كانت المحمصـة آمنة كلياً، لأننا حينها حكمنا على أخطارها بالقبول.

وحالة ثانية، حين نُغالي في تقدير الأخطار المُرتبطة بشيء ما، مثلاً إذا اعتقدنا بدرجة غير منطقية أن الفلورايد المُوجود بمياه الشرب سيقتل ثلث سكان الدولة، وطبقاً لتعريف لورانس، فإن الماء الذي يحتوي على الفلورايد غير آمن، لأننا حكمنا على أخطاره بعدم القبول. فإنه من المستحيل لأحد أن يُجادلنا على إثبات أن المياه آمنة، لأنه مرة أخرى، وطبقاً لتعريف لورانس، أصبحت المياه غير آمنة بالنسبة لنا، لحظة ما حكمنا على أخطارها بعدم القبول.

ثالثاً، هناك موقف من الحيادية، حيث لا تصدر مجموعة من الناس أي حكم إطلاقاً على كون الأخطار المُتعلقة بشيء ما مقبولة، أو غير مقبولة، أنهم ببساطة لا يعيرونها اهتماماً. هذا يعنى طبقاً لتعريف لورانس، أن هذا الشيء لا يعد آمناً أو غير آمن بالنسبة لتلك المجموعة. وهذا لا يتماشى مع طرقنا الطبيعية للتفكير بالأمان، فمثلاً نحن نقول: إن بعض السيارات آمنة، والبعض الآخر غير آمن، على الرغم من أن الكثير من الناس لا يفكرون أبداً في أمان السيارات إلى الذين يقودونها.

يجب على الأقل، وجود نقطة مرجعية موضوعية خارج أنفسنا، لتسمح لنا، بالقياس عليها، أن نقرر كون أحكامنا عن الأمان صحيحة، وأن تقويمنا للخطر مقبول. يمكن وضع هذا المفهوم في تعريف موسع، من دون التغاضي عن الرؤية بأن الأمان حكم نسبي يعتمد على القيم المتباينة للناس، [3]. أحد الاختيارات يتمثل في مساواة الأمان بغياب الخطر، ولكن لأنه قليل وجوده في الحياة، أو في الهندسة، خال من الخطر، ومن ثم، فإننا نُفضل أن نتبنى نسخة مُعدلة من تعريف لورانس:

"يعد الشيء آمناً، إذا ما تم معرفة أخطاره تماماً، وتعد هذه الأخطار مقبولة بحكم شخص عقلاني في ضوء مبادئ وقيم ثابتة".

كثيراً ما نُفكر في الأمان على أساس درجات ومقارنات. فنحن نقول عن شيء: "تقريباً آمن" أو "آمن نسبياً"، عندما نُقارنه بأشياء مُشابهة. وهذا يُترجم باستخدام تعريفنا بصفتها درجات، حيث يحكم بها أفراد أو جماعات على أساس

قيـم ثابتة، يقررون أن الأخطار المتعلقة بشـيء ما، مقبولة أكثر، أو أقل من شـيء آخر، حيث يتم مقارنة أخطار هذا بذاك. مثلاً يُمكننا القول: إن السفر بالطيران أكـثر أماناً من السـفر بالسـيارة، حيث إن الحـوادث أو حالات الوفـاة أقل لنفس المسـافة المقطوعة، وهذه تمثل عوامل الأخطار فى قيمنا الثابتة التي تؤدي بنا إلى تفاديها. وأخيراً، فإننا نسـتعمل كلمة "أشياء" في حديثنا عن درجة الأمان، لتضم المنتجات، والخدمات، والعمليات الصناعية، والحماية من الكوارث.

• الأخطار:

نحن نقول: إن شيئاً ما غير آمن إذا عرضنا لأخطار غير مقبولة، لكن ماذا تعنى كلمة "خطر"؟ الخطر هو الاحتمال بأن شـيئاً غير مرغوب فيه أو مُضـر قد يحدث. نحن نُخاطر عندما نسـتخدم منتجاً أو مادة أو نسـتهين بشيء غير آمن. يرجع لذلك ويليـام روى William D. Rowe بأنـه "أي احتمال لعواقب غير مرغوب فيها لأحداث وشيكة، [4]". لذا فإن ذلك يتضمن أي حدوث لأذى مُفترض ومُمكن في المستقبل.

إن الأخطـارة مثل الأذى، مفهوم واسـع يُغطى كثيراً مـن أنواع الحالات غير المرغوب فيها. إذا وضعنا التكنولوجيا في الاعتبار، فإنها تضمن أخطار من الأذى الجسدي والخسائر المادية، أو حتى التآكل البيئي، وهذا من ثم ممكن أن ينتج عن التأخـر في إكمـال الأعمال، أو منتجات معيبة، أو حلول لمشـكلات التقنية قد تكون ضارة بالاقتصاد والبيئة.

من المسـلم به، أن العمل الهندسي السليم معني بالأمان، ولكن مع تزايد نمو تأثـير التكنولوجيا في المجتمع، زاد معه القلق العـام بتزايد الأخطار التكنولوجية، بالإضـافة إلى الأخطار المعروفة القابلة للقياس، والناتجة عن استخدام المُنتجات الاستهلاكية المصنعة، وهو أحد تأثيرات التكنولوجيا غير الظاهرة، التي أصبحت جزءاً من الوعي العام. وكما يُطلق على هذه الأخطار اسـم "الأخطار الجديدة"، فإنها كانت ظاهرة قبل ذلك بعض الوقت.

إنها جديدة فقط بمعنى: (1) أنه يُمكن تعريفها الآن (بسبب تغييرات في حجم الأخطار إلى تمثلها، أو بسبب أنها تعدت حدّاً مُعيناً من التراكم في بيئتنا، أو بسبب أن أسلوبنا في التعريف والقياس قد تحسن)، (2) إدراك العامة لهذه الأخطار قد تغير (بسبب التعليم، والخبرة، واهتمام الإعلام، أو بسبب صعوبة التضليل في هذه الأيام).

في ذلك الحين، فإن الأخطار الطبيعية مازالت تُهدد سكان الأرض، في حين قامت التكنولوجيا بتقليل وقع بعض هذه الأخطار، مثل الفيضانات، لكنها في نفس الوقت، زادت من تعرضنا لأخطار طبيعية أخرى، مثل الزلازل الأرضية التي تؤثر على قطاع أكبر من سكان الأرض، وتسبب أضراراً أكبر لبنيتنا التكنولوجية، من خطوط حيوية طويلة للمياه، والطاقة، والغذاء.

- **السلامة وقبول المجازفة المحسوبة:**

مع تبنينا لتعريف لورانس المُعدل للأمان كأخطار مقبولة، يجب علينا دراسة فكرة المقبولية عن كثب. قال وليام دوي: "يُصبح الخطر مقبولاً عندما لايكون الأفراد المُتأثرون قلقين، [5]." يعتمد القلق بدرجة كبيرة على كيفية إدراك الأخطار. هناك عوامل تؤثر في ذلك، مثل كون الخطر مُفترضاً أن يكون غير مقصود، أو إدراك الاحتمالات الأخرى للأذى، أو ضغوط مُتعلقة بالعمل، أو أخرى تُسبب تجاهل الأفراد للأخطار، أو موقف خطر على وشك الحدوث وتوقع الضحايا المُحتملين. دعونا نوضح عوامل إدراك الخطر هذه من خلال بعض الأمثلة.

التطوع والرقابة

يتمتع جون وآن سميث وأطفالهم بركوب الدراجات البخارية فوق الأراضي الصعبة للتسلية، فهم يأخذون أخطارة تطوعية بصفتها جزءًا من الإثارة بأن يقوموا برياضة خطرة. إنهم لايتوقعون من مصنعي هذه الدراجات أن يتقيدوا

بنفس معايير الأمان التي يلتزم بها مصنعو سيارات الركاب المستخدمة في الانتقال اليومي. يجب أن تكون الدراجات متينة، ولكن بالنسبة لوجود غطاء يحمي الأجزاء المكشوفة من المحرك، أو لوحات لتبطين الآلات، أو أسطوانة توجيه قابلة للانكماش، أو فرامل أمان، كلها تعد غير ضرورية إطلاقا، هذا إذا لم تكن غير مناسبة.

نحن لا نشمل العربات ذات العجلات الثلاث، في مناقشتنا للدراجات النارية وما يُشابهها، لأن العربات ذات العجلات الثلاث، تُمثل أخطارًا بقدر أكبر بسبب الإحساس الزائف بالأمان الذي تُعطيه للراكب، لأنها سهلة الانقلاب، وكانت مسؤولة عن 900 حالة وفاة و 300 ألف إصابة، في خمس السنوات السابقة لحظرها من الولايات المتحدة، وكان نصف هذه الحوادث تقريباً لأطفال دون الـ 16 من العمر.

يعيش كل من جون وآن بالقرب من مُفاعل كيميائي، لأنه المكان الوحيد الذي يستطيعون تحمل تكاليفه، وهو قريب من حوض بناء وإصلاح السفن الذي يعملون فيه. إنهم يعانون من تلوث الهواء في منزلهم، بالإضافة إلى النفايات السامة الموجودة حول المنزل. ينصحهم المفتشون الرسميون بأن لا يقلقوا، ولكنهم قلقون، وهم يظنون أن لهم الحق في الشكوى، حيث إنهم معرضون لأخطار مفاعل كيميائي ليس لهم به أي علاقة، إلا على أساس غير تطوعي.

كما أن أي صلة مفيدة للمُفاعل من خلال منتجات استهلاكية، أو أي صلة أخرى، هي بعيدة جداً واختيارية. إن تصرف جون وآن، يُشبه تصرف الكثير منا في مثل ظروفهم. قلقنا قليل بالنسبة إلى الأخطار التي نُعرض أنفُسنا لها طواعيةً، بالنسبة لتلك الأخطار المُرغمين عليها. إذا تحدثنا على أساس نموذج الهندسة بصفته تجريباً اجتماعيًّا، نرى أن الناس يفضلون أن يكونوا عرضة لتجرباتهم الشخصية، على أن يكونوا جزءاً من تجارب غيرهم.

أن مسألة التحكم مُرتبطة بشكل وثيق بمفهوم الطواعية، فنرى أن آل سميث اختاروا هذه الدراجات بميكنتها المحدودة، وهم فخورون جداً بقدرتهم على

التحكم بها (أو هم يظنون ذلك). هم على وعي بإحصائيات الحوادث لكنهم يُقنعون أنفسهم أن هذا ينطبق على غيرهم وليس عليهم فقط، وعلى أساس هذا التصرف، تُظهر هذه العائلة على نحو مميز الثقة غير الواقعية التي يُظهرها مُعظم الناس عندما يعتقدون أن الأضرار تحت تحكمهم، [6]. لكن ركوب الدراجات البخارية، والتزلج، وركوب الخيل، والملاكمة، والرياضات الأخرى الخطيرة، عادةً ما يقوم مُمارسوها على أساس تحكم مُفترض. إن قلق الأشخاص الأكثرين حماساً يكون أقل بالنسبة للأخطار مثل تلوث الهواء أو معايير أمان الطيران. وهناك سبب آخر لعدم القلق كثيراً بالنتائج، وهو أنه قلما تسبب أي حادث رياضي منفرد في إصابة عدد كبير من المُتفرجين.

تأثير المعلومات في تقييم الأخطار:

إن أسلوب تقديم المعلومات المطلوبة لصنع القرار، يمكن أن يؤثر كثيراً في إدراك الأخطار. إن آل سميث لا يعيرون أحزمة الأمان في سياراتهم اهتماما، ويعلمون أن فرص تعرضهم لأي حادث خلال تنقلهم قليل نسبياً. وإذا أخبرهم أحد أنه في غضون 50 عاماً من قيادة السيارات، وبنسبة 800 رحلة في العام، هناك احتمال 1 من بين كل 3، أنهم سوف يتعرضون لإصابة تتسبب في إعاقة، لذا فإن سلوكهم نحو حزام الأمان وقوانينه سيختلف، [7]. أكدت الدراسات أن تغيير أسلوب تقديم المعلومات عن خطر ما قد يؤدي إلى انقلاب ملحوظ في أولويات الأفراد في التعامل مع هذا الخطر. لنستعرض على سبيل المثال هذه التجربة التي تضمنت مجموعتين من 105 فرد تم إخبارهم بالإستراتيجيات المُتاحة لمُحاربة مرض ما. تم إعطاء المجموعة الأولى الوصف الآتي:

تخيل أن الولايات المتحدة تستعد لبداية انتشار مرض آسيوي غير عادي من المُتوقع أن يقتل 600 فرد. هناك برنامجان بديلان تم تقديمهما لمُحاربة هذا المرض. افترض أن التقدير العلمي الدقيق لنواتج البرنامجين كالآتي:

- إذا تم تبني البرنامج (أ): سيتم إنقاذ 200 فرد.

- إذا تم تبني البرنامج (ب): هناك احتمال بنسبة 1/3 أن يتم إنقاذ 600 فرد، واحتمال بنسبة 2/3 بعدم نجاة أحد.

جاء في تقرير الباحثين أن 72% من الأفراد اختاروا البرنامج (أ) في حين أن 28% اختاروا البرنامج (ب). من الواضح أن التوقع المُشرق بإنقاذ 200 فرد أدى إلى شعور كثير من الناس بالإكراه للأخطارة باختيار إنقاذ 600 فرد.

أعطى الباحثون نفس المشكلة للمجموعة الثانية، وبنفس الاختيارين، ولكن تم صياغتها بأسلوب مختلف.

- إذا تم تبني البرنامج (ا)، لن ينجو 400 فرد.

- إذا تم تبني البرنامج (ب) هناك احتمال بنسبة 3/1 بأنه لن يموت أحد، واحتمال بنسبة 3/2 بأن الـ600 فرد لن ينجوا.

فأي البرنامجين تفضل، [8]؟ هذه المرة تم اختيار البرنامج (ا) نسبة 22%، والبرنامج (ب) بنسبة 78%.

إحدى النتائج التي نستشفها من هذه التجربة هي أن الأفراد يفضلون اختيار المكاسب المؤكدة، عن الخيارات التي تتسم بالاحتمالية ووجود خطر. النتيجة الثانية هي أن الخيارات التي تشير إلى خسائر مؤكدة يتم تفاديها لصالح الخيارات التي تتضمن احتمالية النجاح. وباختصار يُفضل الناس الأخطارة لتجنب الخسائر المضمونة، واختيار المكاسب المحتملة.

الأخطار المتعلقة بالعمل:

يعمل جون سميث في حوض لبناء وإصلاح السفن، وقد عرضه ذلك للأسبستوس (الحرير الصخري) سلفاً، وهو الآن على وعي تام بتأثير التركيز

العالي للأسبستوس في زملائه في العمل، وبعد استشارة طبيبه الخاص وجد أنه مصاب بالمرض أيضاً ولكن بنسبة بسيطة. حتى زوجته آن، التي تشغل وظيفة مكتبية في حوض السفن، ظهرت عليها أعراض المرض بسبب عنايتها بملابس زوجها. في البداية لم ير جون أي فائدة للهرج والمرج الذي يُحركه فاعلو الخير، ويرى أنه يُؤجر على القيام بعمله، وأن الأقنعة التي أعطت له بين الحين والآخر كانت تمنحه الحماية الكافية، وبأن طبيب الشركة كان يُعطيه تقريراً طبياً سليماً.

يفكر جون على هذا الأساس مثل باقي العمليين، الذين يُقدمون في عملهم دون تردد على الأخطار، التي أحياناً يُقدمون عليها بشجاعة، ولكن بالطبع الإقدام على الأخطار في العمل أمر طوعي لنا، فكل فرد له الحق في ألا يستسلم لهذه الأخطار، وبعض العمال لديهم درجة من التحكم في كيفية إنجاز عملهم، لكن البعض الآخر ليس لديهم اختيارات غير الالتزام بما هو مُتاح لهم من عمل، أو بالقيام بما هو مطلوب منهم. قلما يتم إخبار العاملين بأنهم يتعرضون لمواد سامة وأخطار أخرى لايمكن رؤيتها بوضوح. إن معايير الاتحادات ومنظمات الصحة الدولية وأنظمة الأمان (مثل قاعدة الحق في المعرفة بالنسبة للسميات) يمكن أن تُصحح أسوأ الأوضاع، لكن المعايير التي تُنظم ظروف العمل (مثل جودة الهواء) ما زالت أقل بكثير من تلك المعايير في بيئتنا العامة. ويمكن أن نُجادل هنا في أن العامّة تشمل كثيراً من الناس بصحة ضعيفة، ويتطلبون نسباً قليلة من التلوث وبيئة نظيفة نسبياً. وعلى الجانب الآخر، نرى أن عُمال المصانع قلما يتم فحصهم جيداً قبل الالتحاق بالعمل. أظهرت الاتحادات في الماضي رغبة ضعيفة في التغيير لكل بيئات العمل، خاصةً الخطر منها، خشية أن تؤدي التعديلات البسيطة في مناخ العمل إلى خسارة أصحاب العمل لمشاريعهم.

يجب أن يضع المهندسون الذين يصممون ويجهزون مواقع العمل في اعتبارهم السلوك المتعجرف نحو الأمان، الذي يُظهره كثير من العمال، خاصةً

هؤلاء الذين يعملون بعقود مؤقتة. وعندما يتقدم أحد العمال بشكوى عن ظروف الأمان دون زملائه، يجب ألا يتم تجاهل الشكوى واعتبارها صادرة من معتوه، أو اعتبار الألم الذي يُعاني منه قاطعو اللحوم، أو موظفو الآلة الكاتبة التي تعرضهم لمرض كاربال-تانل (Carpal Tunnel) الذي لم يدرج عالمياً، في أغلب المواقع، بوصفه أساساً لتعويض العمال، ولكن منذ فترة وجيزة أصدرت الإدارة العامة لصحة وسلامة العمال دعمها السياسي لإعداد أنظمة حماية أخرى، وتُطالب جميع التقارير التي تذكر الظروف غير الآمنة للعمل أن تحظى باهتمام شديد من قبل المهندسين.

حجم الحدث وقربه:

يتأثر رد فعلنا للخطر بالخوف من إمكانية وقوع حادث مؤسف من حيث حجم هذا الحدث وكيفية تعلقنا به، وعلاقتنا بالضحايا المُحتملين، مثلاً حادث تحطم طائرة في دولة بعيدة، أو صورة طفل نراها له على شاشة التلفاز، وهو مُحتجز في بئر عميقة، يكون له تأثير أكبر علينا، من الحوادث اليومية القاتلة على الطريق السريع، إلا إذا علمنا أن شخصاً نعرفه كان طرفاً في حادث سيارة.

تؤثر الإحصائيات في وجهة نظرنا نحو أي خطر محتمل، فاحتمال أن يشعر أحدنا في صحبة 20 صديقاً مُقرباً أن يكون عُرضة للضرر، أكثر مما تكون عليه الحال بالنسبة 50 شخصاً لا تربطهم علاقة من مجموعة أكبر تضم 1000 شخص. تأثير القرب هذا ينتج أيضاً عن إدراكنا للخطر مع مرور الوقت. فممكن تجاهل أي خطر في المستقبل من خلال نقاط إدراك مُختلفة مُتضمناً (1) سلوك "البعيد عن العين بعيد عن القلب"، (2) الاعتقاد بأن توقعات المستقبل يجب حسمها باستخدام احتمالات أقل لحدوثها، أو (3) الاعتقاد بأنه سيتم إيجاد الإجراء المُضاد مع الوقت. إن سوء الإدراك للأرقام والإحصائيات، قد يجعلنا نتجاهل بسهولة الخسائر التي تكون عادةً أكبر من التي تُظهرها الإحصائيات

نفسها. يحكي ويليام سترانا William Strana عن فقد 75 رجلاً خلال انهيار كوبري كيبيك غير المُكتمل عام 1907، فيقول: "كان هناك حوالي 35 رجلاً من مجموع الـ75 في هذه الحادثة ينتمون لقبيلة هنود الموهاوك، من محمية كاوناواجا في كيبيك، وكان لوفاتهم تأثير مُدمر في هذا المجتمع الهندي الصغير، الذي بدل مظهرهم الديموغرافي، وقواعدهم الاقتصادية، ونسيجهم الاجتماعي بقسوة، ومنذ ذلك الحين لم يعمل عمال التسليح من هذه القبيلة بأعداد كبيرة في نفس المكان، وفضلوا أن يعملوا في جماعات صغيرة في مواقع مختلفة، [9]."

يواجه المهندسون مشكلتين مع فهم جمهور العامة للأمان. على الصعيد الأول، فإن هناك سلوكًا مُفرطاً بالتفاؤل بأن الأشياء المألوفة التي لم تسبب لنا ضررًا مُسبقاً، والتي نتحكم فيها بدرجة ما، لا تُسبب أي خطر حقيقي لنا، وعلى الصعيد الآخر نجد الخوف الشديد، الذي يشعر به الناس عندما يتسبب حادث في قتل أو جرح أعداد كبيرة من الناس، أو أشخاص نعرفهم، مع أن هذه الحوادث حسب الإحصائيات قد لاتكون مُتكررة على نحو ملحوظ.

- **موضوعات للمناقشة:**

1 - صف مشكلة مرور واقعية أو خيالية في الحي الذي تقطنه، متضمناً الأطفال، وكبار السن، الذين يجدون صعوبة في عبور الشوارع المزدحمة. ضع نفسك مكان (ا) شخص ينتقل للعمل مستخدماً هذه الطريق، (ب) أب لطفل، أو قريب لشخص مُسن، مضطر لعبور الطريق في بعض الظروف، (ج) شرطي مُعين لتنظيم المرور في هذه الطريق، (د) مهندس مرور المدينة يعمل تحت ضغوط ميزانية العمل المحدودة.

صف كيف يُمكن أن تتصرف متقمصا الأدوار المختلفة السابق ذكرها، لتتعامل مع الآتي: (هـ) شكاوى تتعلق بالأخطار التي يواجهها المُشاة في المناطق المُخصصة لعبور الطريق، (و) طلبات لحماية المناطق المخصصة لعبور المشاة بمنظم مرور، أو إشارات التحذير.

2 - هنـاك بعض الصـناعات في الدول المتقدمـة تكنولوجياً، قد وجد أصـحابها أنفسـهم مقيدين بنظم أمان متعددة، ممـا دفعهم إلى ترويج منتجاتهم في، أو نقـل عمليات إنتاجهم إلى الدول القليلة التقدم، حيث يُسـمح بنسـبة أكبر من الأخطارة العالية. أمثلة على ذلك هو ترويج أدوية غير مؤثرة أو غير آمنة في دول العام الثالث، من خلال شـركات الأدوية في الدول الصناعية الكبرى، ونقل إنتاج الحرير الصخري (الأسبستوس) في الماضي من الولايات المتحدة إلى المكسـيك [10]، وقريباً تم وضـع النفايات السـامة على لائحة التصدير (مـن بطاريات حمض الرصـاص إلى النفايات النوويـة). إلى أي مدى يُبرر اختلاف إدراك الأخطار نقل مثل هذه البضـائع وعمليات التصـنيع إلى دول أخرى؟ هل يجب، وهل من الممكن تنظيم مثل هذه الأنشطة؟

3 - إن غبار الحبوب الزراعية أشـد قابلية للانفجار والاشـتعال عن غُبار الفحم أو البارود. لقد دمر هذا الغبار صـوامع الحبوب، وقتل العديد من العمال في اشـتعال صادر عن تدفق إلكتروسـتاتيكي، أو لأي سبب آخر على مر السنين. عندمـا توفي 54 شخصـاً، خلال أعياد الكريسـماس في انفجـار مماثل عام 1977، قرر مناولو الحبـوب في الحكومة الأمريكية أخيراً مُحاربة تراكم هذا الغبار. فبعد عشـر سنوات، ورصيد 59 حالة وفاة، بالإضافة إلى 217 إصابة، وصـلوا لمعايير وسـطية تُقرر أن تراكم الغبار لمعدل 1/8 بوصة أو أكثر يدخل في مرحلة الخطر، ويُصـبح غير مسـموح به. اسـتخدم قضـية اشتعال غُبار الحبوب الزراعية بوصفها دراسة حالة لمعايير أمان مكان العمل.

2 - تقييم الأخطار ومحاولة تقليلها

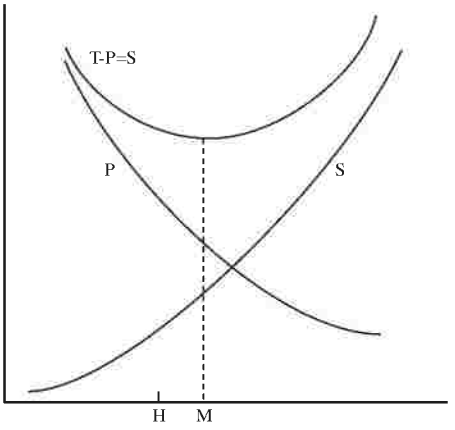
أي تحسن في الأمان كما يُمكن ربطه بمُنتج مُصمم، يكون في العادة مُصاحباً بزيـادة في تكلفة هذا المنتج، وعلى الصـعيد الآخر فـإن المنتجات غير الآمنة تُثقل كاهل المصـنعين بتكاليـف ثانوية تتجاوز تكاليـف الإنتاج الرئيسـة، وهي تكاليف

مُصاحبة لنفقة الضمان، خسارة رضا المستهلكين، وخسارة المستهلكين أنفسهم بسبب الإصابات الناجمة عن استخدام ذلك المنتج، والنزاعات القضائية وقت التعطل في عملية التصنيع، وما إلى ذلك. لذا فإنه من المهم للمُصنعين، والمُستخدمين على حد سواء، أن يصلوا لنقطة تفاهم حول الأخطار المُرتبطة بأي مُنتج، ومعرفة مدى تكلفة تفادي أو تقليل تلك الأخطار (أوعدم تقليلها).

- **العوامل غير المؤكدة في التصميم الهندسي:**

قد يعتقد البعض أن الخبرة والبيانات التاريخية قد تمد الفرد بالمعلومات الجيدة حول أمان معايير الإنتاج. لقد تم تجميع ونُشر الكثير من البيانات، لكن تظل هناك فجوات بسبب (1) أن هناك بعض الصناعات حيث لاتوجد معلومات يمكن تقاسمها بحرية، على سبيل المثال، عندما تكون تكلفة الفشل أقل من تكلفة إصلاح المشكلة، (2) لم يتم إظهار المشكلات وأسبابها بعد الوصول إلى تسوية قانونية و(3) هناك دائماً تطبيقات جديدة للتقنية القديمة، أو استبدال الخامات والمكونات، حيث تصير المعلومات المتاحة دون أهمية.

الأخطار بطبيعة الحال لا تزرع داخل تصميم المنتج عن قصد، غير أنها تنتج عن الشكوك الكثيرة التي يواجهها مهندس التصميم، ومهندس التصنيع، وحتى مهندس المبيعات والتطبيقات. في البداية، دعنا نلقي نظرة على الغرض من التصميم، ولنضع في اعتبارنا شركة خطوط جوية مثالاً. هل المقصود زيادة أرباح الشركة، أو المقصود أن نحقق أعلى عائد مُحتمل للمستثمرين؟ الإجابة عن مثل هذا السؤال مُهمة للشركة، لأن الكثير من القرارات ونتائجها تتعلق عليها، وأيضا احتمالية النجاح أو الانهيار الاقتصادي للخطوط الجوية. إن استثمار 50 مليون دولار على طائرة نفاثة، لكي تحصد أعلى أرباح، على سبيل المثال 10 ملايين دولار خلال وقت محدد، يتضمن عائداً أقل من الاستثمار من إنفاق 24 مليون دولار على نفاثة متوسطة الحجم لتحصد عائد ستة ملايين دولار في نفس المدة الزمنية.



رسم 4-1

لماذا المنتجات عالية الخطورة ومنخفضة الخطورة غالية، (P) : التكلفة الأولية للمنتج، وتتضمن تكلفة معايير الأمان، والتي تتضمن (S) : تكاليف ثانوية، وتتضمن الضمانات و خسارة ثقة العميل، تكلفة الوقت القليل، تكاليف قانونية، وأخرى، (T) : إجمالي التكلفة، والتكلفة الأدنى الإجمالية تحدث في M، عندما يكون التوفير في الزيادات في التكلفة الأولية (منحدر P) متساوي مع زيادات التكلفة الثانوية (منحدر S)، الخطر المقبول الأعلى (H) قد يقع تحت (M) خطر التكلفة الأدنى، وفي هذه الحالة H وتكلفتها الأعلى يجب أن يتم اختيارها كنقطة التصميم أو التنفيذ.

وبالنظر للتطبيقات، فإن التصميمات التي تعمل جيداً مع الأحمال الساكنة قد تفشل تحت التحميل الديناميكي. هناك مثال تاريخي على ذلك، وهو الجسر الخشبي الذي اهتز وانهار عندما عبر عليه فريق من جيش نابليون، وهم يمشون مشية عسكرية. مثل هذه الاهتزازات أثرت أيضاً في أحد جسور روبرت ستيفنسون، المصنوع من الصلب، فقد تمايل بشدة تحت أقدام الفرق الحربية البريطانية خلال مشيتهم العسكرية، ومنذ ذلك الحين صدرت أوامر للجنود أن يحلوا أنفسهم من المشية العسكرية عندما يعبرون أي جسر. كما تتسبب الرياح أيضاً في اهتزازات مُدمرة، هناك مثالان (1) جسر "تاكوما ناروز، [12]" Bridge عام 1940، الذي أثار جدلاً كبيراً ولم يجدوا له تفسيراً واضحاً إلى الآن، (2) خط

طاقة كهرباء ذات الضغط العالي عبر بلدة بوسبوراس Bosporus في تركيا، فقد تأرجحت الأسلاك الهوائية لخط هذا الضغط العالي بفعل رياح عاتية، مما أدى إلى انصهار الأسلاك عند التلامس، وسقطت على البيوت والناس سواء.

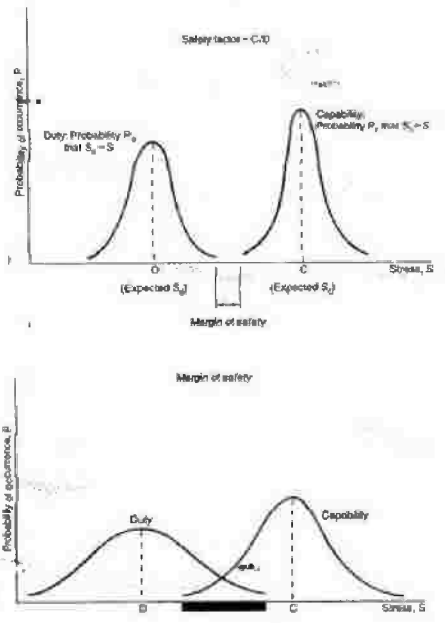
بعيداً عن الشكوك التي تحيط بتطبيقات منتج ما، هناك أيضاً شكوك تتعلق بالخامات المُستخدمة في هذا المنتج، ومستوى المهارة التي تدخل في التصميم والتصنيع لهذا المنتج، فعلى سبيل المثال قد يؤثر تغيير الحقائق الاقتصادية أو الظروف البيئية غير المألوفة مثل درجات الحرارة شديدة الانخفاض على كيفية تصميم منتج ما. فلن يستطيع مهندس ما، ملتزم بتعاليم الهندسة التقليدية التي يستنتج من خلالها قيماً مدمجة ومحفوظة دون النظر إلى نقاط قصور هذه القيم، أن ينجح في ظل هذه الظروف.

إن الحذر مطلوب حتى مع الخامات القياسية المُخصصة للاستخدامات العادية. في عام 1981 تم استبدال خدمة المعديات القديمة، التي تخدم في نهر المسيسبي قبالة مدينة "بيردي شين" في ولاية وسكنسن، بجسر جديد، أُغلق بعدها حيث إن 11 وصلة مقطعية من مجموع 16 وصلة في كلتا جهتي ربط عتبات الجسر كانت مُصنعة من صُلب مُفرط الهشاشة [13]، وفي ذلك الحين كانت قد اختفت جميع المعديات القديمة، هذا لأنه عندما يتم إجراء اختبارات المتانة على حديد التسليح كثيراً ما تؤخذ متانة الحديد شيئاً مُسلماً به.

مثل هذه التغييرات العنيفة في الجودة القياسية لدرجة معينة من حديد التسليح في العادة تكون حالة استثنائية، بمعنى آخر تكون هذه التغييرات طفيفة، لكن رغما عن ذلك يجب على مهندس التصميم إدراك أن بيانات المورد على أشياء مثل الصلب، وأجهزة المقاومة، والعزل الكهربائي، والزجاج البصري، وما إلى ذلك تنطبق على المعدلات الإحصائية فقط، فإن المكونات الفردية قد تختلف كثيراً عن المتوسط الإحصائي. وقد تأقلم المهندسون على مثل هذه الشكوك التي

تُحيط بالخامات أو المكونات، وأيضاً على المعرفة غير الكاملة بظروف التشغيل الحقيقية لمنتجاتهم، بتقديم عامل حماية مريح. المقصود بهذا العامل هو الحماية ضد المشكلات التي تتصاعد عندما تكون قيم الإجهادات من الأحمال المتوقعة، والإجهادات التي من المفترض على المُنتج كما هو مصمم أن يتحملها، بعيدةً عن قيمها المتوقعة. مُمكن أن تكون الأحمال ذات طبيعة ميكانيكية، أو أي طبيعة أخرى، فعلى سبيل المثال عازل كهربائي مكشوف لمجال كهربائي، أو زيادة الزحام عند تقاطع شارعين.

قد يُقال: إن منتجاً ما يعد آمناً إذا تعدت قدرته متطلبات وظيفته، لكن هذا يستلزم المعرفة الدقيقة بقدرته ووظيفته الحقيقية. في الحياة العملية يقوم المهندسون بحساب الضغط لظروف تحميل مُعطاة، والضغط الذي يتجسد أساسياً على هذا التحميل قد يختلف قليلاً، هذا لأن كل مُكون من المكونات في تركيب يسمح له بدرجة تحمل في أبعاده وخصائصه الفيزيائية، وتكون تكاليف الإنتاج غير مُحتملة إذا حدث غير ذلك. وتكون النتيجة أنه يكون من الصعب إعطاء قيمة رقمية واحدة لقدرة التركيب بصفه كلية لكن يجب التعبير عنها بصفة كثافة احتمالية يُمكن وصفها بشكل بياني " بوصفه منحنى قدرة" (انظر شكل 2-4). إن القيمة الموجودة على المحور الأفقي لنقطة ما على مُنحنى القدرة يُعطي احتمالية أن القدرة أو القوة مساوية للقيمة الموازية الموجودة على المحور الأفقي، ممكن إنشاء مُنحنى مُماثل للمهمة، التي قد يمر بها التركيب فعلياً. إن التعرض للضغط يتغير، لأن هناك اختلافات في الأحمال والظروف البيئية، أو في أسلوب استخدام المنتج يكون مُصاحباً لمنحنيات القدرة والمهمة قيم اسمية ومتوقعة (C، D)، عادةً ما نُفكر ونتصرف على أساس قيم اسمية أو قيم متوقعة فقط. وطبقاً لأسلوب التفكير التقريري هذا قد نجد صعوبة في إدراك الهندسة بصفتها عملاً يتضمن التجريب. إن عامل الحماية (D أوC) يستقر بهدوء في ضمائرنا، لكن كيف لنا أن نتأكد أن الخامات التي نستخدمها قريبة لخصائصها



رسم 4-2
مُنحنى القدرة الاحتمالية للضغط في نظام هندسي
(أ) تنوع الضغوك و في حالة أمان نسبية
(ب) أمان أقل ، نتيجة التشابك في توزيع الضغط

الاسمية المحددة؟ أو أن الأحمال لن تختلف كثيراً عن قيمها المتوقعة، أو أن تحدث في بيئة مُعادية للأداء المُفترض والسليم للخامات؟ إنه من القابل للفهم كلياً أن مُنحنيات القدرة والمهمة سوف تميل إلى أشكال أكثر تزلفاً، بسبب زيادة التفاوت (انظر شكل 2-4 ب) عما قد يشكلونه تحت ظروف طبيعية كما في الشكل (2-4 أ) يُظهر الشكل (2-4 ب) كيف يمكن لضغط الحمل أن يتعدى ضغط التصميم في المنطقة المُظللة للضغط. قدم إدوارد هوجان Edward Haugan مع آخرين مُعالجة حسابية لهذا الموضوع، والذي يُذكر قراءة أن "مبدأ عامل الأمان يتجاهل وقائع التغير كلياً، التي تنتج عن معايير دقة مختلفة لنفس عامل الأمان، [14]."

قد يكون هامش الأمان مقياساً مُناسباً أكثر للأمان، وهو موضح بالشكل (2-4أ). إذا كان من الصعب حساب هامش أمان للأعمال العادية المُستخدمة كل يوم فتخيل الصعوبات المتزايدة التي تظهر مع وجود الأحمال مُستمرة التغير.

• تحليل وتقدير الأخطار على حساب المنافع:

كثير من المشروعات الضخمة وخصوصًا المشروعات العامة يتم الحكم عليها على أساس تحليل الفائدة/الخطر. إن السؤال الذي يتم الإجابة عنه في مثل هذه الدراسة هو: هل المُنتج جدير بالأخطار المتعلقة باستخدامه؟ ما هي الفوائد؟ هل الفوائد تتعدى الأخطار؟ نحن على استعداد أن نتكلف مستويات معينة من الخطر مادام المشروع (المُنتج، النظام، أو النشاط الذي نعده خطراً) يعد بفائدة أو كسب كاف. إذا كان من الممكن التعبير عن الفائدة والخطر دون تردد في شكل مجموعة عامة من الوحدات (قل مثلاً، الأرواح أو الدولارات كما في تحليل الفائدة والتكلفة) فيكون من السهل القيام بتحليل الفائدة/الخطر، وتحديد إذا ما كان يُمكننا توقع استنتاج جانب الفائدة. فمثلاً قد ينتج من برنامج تلقيح بعض حالات الوفاة، لكنه جدير بالأخطارة إذا كان سيُؤدي إلى إنقاذ أرواح أكثر بمنع وباء وشيك الحدوث.

يُظهر فحص تحليل الفائدة/الخطر عن قرب بعض الصعوبات الإدراكية، فكل من الفائدة والخطر يقع في المستقبل، ولأن هناك بعض الشك المُصاحب لهما فيجب علينا مخاطبة قيمهم المتوقعة (حين نضع في الاعتبار أن مثل هذا النموذج يلائم الموقف) أو بشكل آخر يجب علينا ضرب قدر الخسائر المتوقعة في احتمالية حدوثها وأيضاً في مكاسبها. لكن من يُقرر هذه القيم وكيف؟ إذا كان من الممكن استيعاب الفوائد في المستقبل القريب والأخطار تكون أبعد من ذلك (أو العكس) فكيف يمكن حسم المستقبل في معدل فائدة لكي نتمكن من مقارنته بالقيم الحالية؟ ماذا نفعل إذا كانت الفائدة لمجموعة ما وتكون الأخطار عبئاً على مجموعة أخرى؟

إن مسألة التأثيرات المُؤجلة تمثل صعوبات معينة عند القيام بالتحليل خلال فترة فائدة عالية. تحت هذه الظروف يتم حسم المستقبل بشدة بسبب القيم

الحاليـة شـديدة الانخفاض للتكلفـة، أو أن الفائدة لا تعطي صـورة واقعية لما قد تواجُهه أجيال المستقبل.

كيف للفرد أن يتقدم عندما تكون الأخطار أو الفوائد عبارة عن مُركبات من المقاديـر التي لايُمكن إضـافتها في مجموعة عادية من الوحدات، كما على سـبيل المثـال في تقييـم التأثير في الصـحة بالإضـافة إلى الجماليات زائـدة الدقة؟ في معظم الأحيان يُمكن للفرد مقارنة التصـميمات التي ترضي بعض القيود، الممثلة بعبارات صـريحة تضـع حدودا قصـوى لبعض المتغيرات، ومحاولة مقارنة القيم الجمالية بهذه القيود، أو عندما يكون من المُمكن التعبير عن الأخطار وقياسها في مجموعة واحدة من الوحدات (مثلا وفيات الطرق السريعة) والفوائد في مجموعة أخرى (كسرعة السـفر- القيادة)، يمكن أن نستخدم نسبة الأخطار للفوائد عند مقارنة التصميمات المختلفة. يجب ملاحظة أن تحليل الفائدة/الخطر مثل تحليل التكلفة/التأثير، وهو يرى أي تصـميم له أكبر فائدة في حين ما يكون المشـروع في طور التنفيذ. أحياناً ما يكون الانتقال نوعاً من الاعتبار إلى نوع آخر شديد الإتقان لدرجة أنه يصعب مُلاحظته. وعلى الرغم من ذلك يجب على المهندسين أن يكونوا علـى وعي بالاختلافـات لكي لا يتبنوا اعتقـادات مبنية على نوع مـن الاهتمام في مشاوراتهم على حساب اهتمام آخر بناءً على عدم علم بذلك.

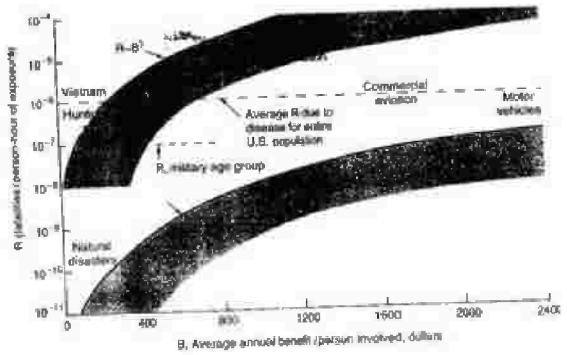
وبوجـود تلـك المصـاعب هناك حاجـة في مجتمعنـا التقني الحـالي لبعض الاتفاق المُشترك على العمليات. أو على الأقل للعمليات المُعرضة للتدقيق والمفتوحة للتعديلات، للحكم على قبول المشـاريع المُعرضة للأخطار المحتملة. ما يجب علينا وضعه في الاعتبار هو الأسئلة الأخلاقية الآتية: تحت أي ظروف - إن وجدت- يجب على شخص ما في مجتمع له الحق في فرض خطر على شخص آخر باسم مصلحة لفائـدة مُفترضـة قد تقع على آخريـن [15]؟ "لا يجب علينا هنـا أن نُقيد أفكارنا للأخطار والفوائد العادية لكن علينا أن نعد أيضـاً أسـوأ سـيناريوهات لأفراد قد يتعرضـون لأخطار قصـوى في حين أنهم يجنون أقل فوائد في نفس الوقت. هل تم

انتهـاك حقوقهـم؟ هل تم تزويدهم ببدائـل آمنة؟ عند فحص هذه المشـكلة على مسـتوى أبعد يجـب علينا أن نعود بخطواتنا للوراء، ونسـترجع ملاحظتنا في توقع حدوث الأخطار التي تم نقاشـها مسـبقاً: إن الخطر لشـخص معروف (أو أفراد ممكن تعريفهم) يتم إدراكه بطريقة مُختلفة عن الأخطار الإحصائية التي نقرؤها، أو نسـمع عنها. وهذا يعني أن المهندسـين لايؤثرون فقط في العامة غير المحددين، وإنمـا لقراراتهم تأثير مباشـر على الأفراد، الذين يشـعرون بهـذا التأثير بحدة، ويجـب أخذ هـذه الحقيقة في الاعتبار، بنفـس الجدية التي تؤخذ بها الدراسـات الإحصائية للأخطار.

• الأخطار المحتملة على الأفراد:

يُمكن للفرد إذا تم إعطاؤه المعلومات الكافية، أن يُقرر برغبته في المُشاركة أو يوافق على التعرض إلى نشـاط خطر (تجربة). توصـل سوشني ستار Chauncey Starr إلى نتائج واسعة الانتشار تُبين أن الأفراد أكثر استعداداً لأخذ أخطار تطوعية في وضـعهم الطبيعي، عما إذا كانوا تحت تأثير أخطار غير تطوعية، أو نشـاطات ليـس لهم تحكم بها، حتى إذا كانـت احتمالات الهلاك لنتائج الأخطار التطوعية، تتعدى مثيلتها تحت تأثير الوضع غير التطوعي، بآلاف المرات.

إن الصعوبة في تقييم الأخطار الشخصية تظهر عندما نعد أن الأخطار غير تطوعية. لنأخذ جون وآن سـميث مثالاً ومشـكلتهم في العيش بجوار معمل تكرير. لنفترض أن أغلبية العامة يُفضلون بناء معمل تكرير آخر في نفس الموقع، ولنفترض أن آل سـميث يعيشـون في تلك المنطقة. هل لهم، ومن هم في نفس موقفهم، مبرر في نقض بنـاء هذا المعمـل؟ وهل لهم الحـق في التعويض إذا تم بنـاء المعمل مع اعتراضهم بأي حال؟ وإذا كان هذا ممكناً، كم من التعويض يُعد ملائماً؟ كل هذه الأسـئلة تنتج عن نماذج عديدة. بناء مفاعل طاقة نوويـة يُعد أحد النماذج وأنتج الشكل 4-3 في مضمون دراسات الأمان النووية.



رسم 4-3
الرغبة في اتخاذ المخاطر التطوعية كمُقابلة لتلك غير التطوعية والمرتبطة تباد ليا، لتُفيد في تقديم تلك المخاطر (
Adopted from C. Starr, " Social Benefit Versus *Technological Risk,* " (Science 165: 1232-38

Reprinted with permission from "Social Benefit versus Technological Risk," Science 165: 1232-38. Copyright 1969 American for the Advancement of Science

إن مشكلة تحديد الكم وحدها توجد مشكلات لا تعد ولا تحصى في تقييم الأخطار الشخصية والأمان الشخصي. كيف على سبيل المثال يمكن للفرد أن يُقيم قيمة الدولار في حياة الفرد؟ هذا السؤال في صعوبة السؤال عن حياة أي فرد جديرة بالإنقاذ إذا كان يجب القيام باختيار كهذا.

البعض قد يُرشح أن هذا قرار يعود إلى سوق المال، مفترضاً أن القيم الموجودة في سوق المال قد تلعب دوراً. لكن في يومنا هذا لا يوجد ثبات في قيمة الأرواح. ولايوجد هناك خسائر أو مكاسب عادية يُمكن تسعيرها بسهولة إذا كان من الممكن التلاعب بالسوق، أو إذا كان هناك فرق واسع بين تكلفة المنتج وسعر البيع والشراء.

إن نتيجة هذه المصاعب في تقييم الأخطارة الشخصية هي أن التحليل يُوظف أي مقاييس كمية متاحة. بالنظر إلى النشاطات التطوعية فإنه من المُمكن للفرد أن يُصدر أحكاماً على أساس كم التأمين على الحياة على أحد الأفراد. هل سيُوفي نفس هذا الفرد نفس المبلغ لشخص اختطفه لكي يتركه يرحل؟ أم أن هناك فرقاً بين الأحداث المستقبلية (مُتطلباً التأمين) والأحداث الحالية (طلب الفدية)؟ في تقييم وظيفة خطيرة قد يُركز الفرد على الأجور المرتفعة التي يطلبها العامل مقابل القيام بهذا العمل. وقد يستطيع الفرد إذا ما ووجه بهذا المدى الواسع من المُتغيرات المُمكنة

أن يقترح أنه يجب توظيف عملية مفتوحة ومراقبة من قبل وسطاء مُدربين في كل حالة على حدة، وعلى الصعيد الآخر فإن من الأسهل استخدام المُتوسطات الإحصائية إذا تم أخذ أفراد من عينة عامة من دون الإساءة إلى أحد على وجه التحديد.

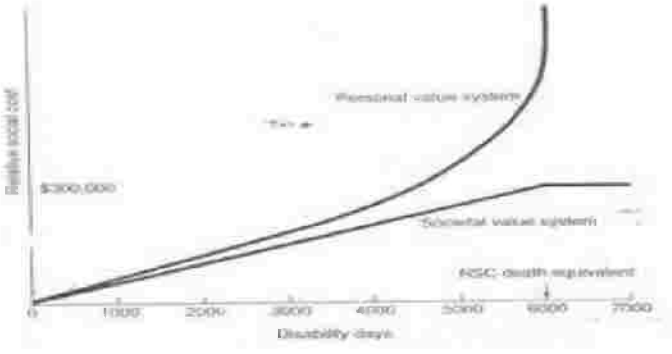
• الأخطار المحتملة على المجتمع ومدى تقبل الناس لها:

إن الأخطار والفوائد يسهل تقديرها أكثر على مستوى العامة، لأن الفروق الفردية تميل إلى أن تتساوى في الأعداد الكبيرة من الناس. إن التضاد حاصل بين تكلفة الإعاقة من وجهة نظر نظام تقدير خاص من نظام تقدير عام، كما هو مُوضح على سبيل المثال في الشكل 4-4. وإن دراسات التقييم المرتبطة بالأمان التقني ممكن القيام بها أيضاً في ظل سلوك منفصل لمنظور عالمي في حين ما يكون للعوامل المتغيرة الإحصائية أهمية كبرى. قدمت في هذا المضمون إدارة أمن الطرق السريعة القومية (NHTSA) قيمة للروح البشرية بناء على خسارة دخل مستقبلي وتكاليف أخرى مصاحبة للحادثة. وفي عام 1972 كانت النتيجة الصادرة عن دراسة هذه الإدارة (NHTSA) هو 725, ٢٠٠ دولار قيمة لحياة الفرد. إن هذا مقياس ملائم أكثر من فرز آخر أرقام ناتجة عن قضايا المحاكم. (في 23 إبريل 1981 على سبيل المثال، ذكرت صحيفة لوس أنجليرس تايمز: أن التسويات لضحايا تحطم طائرة طراز DC-10 في شيكاغو وصلت 257, 2287 دولار لمُدير تنفيذي واعد بالغ من العمر 36 عاماً و٠٠٠, 750 لموظف بشركة هواتف و ٠٠٠, 275 دولار لمضيفة طيران خلال تأدية عملها) في قضية أخيرة تم تعويض عائلة ميكانيكي قُتل في حادث سيارة 6 ملايين دولار لفقد عائلهم. ووصلت الخسائر العقابية إلى 20 مليون دولار إضافية.

وجد شولايميت خان Shulamit Khan أن تقييم سوق العمل للحياة بقيمة 8 ملايين دولار، يُعد مُعدل قيمة مقبول لكثير من الأفراد تم استجوابهم من قبل مُحققين مُختلفين، ومن المثير للاهتمام أن بعض الناس يضعون قيمة أكبر على

حياة الآخرين من 115 إلى 230 بالمائة. يقول خان "حتى الرقم 8 ملايين دولار أعلى مما يستخدم فعلياً في تحليل السياسات، إن التضمين الذي من الصعب تفاديه هو أن محللي السياسات لا يُقيمون الأخطار التي يتعرض لها الأشخاص المأخوذون بصفة عينات دراسية بنفس الارتفاع، الذي يُقيم به الفرد الخطر الذي يتعرض له شخصياً، وبناءً على ذلك فإنه يتم الأخذ بكثير من الأخطار، [16]."

قدمت إدارة أمن الطرق السريعة القومية تقريراً بالآتي: "إن وضع قيمة على حياة الإنسان ليس إلا تلاعباً بالأرقام. لقد وضعنا تقديراً لبعض الخسائر الاجتماعية الناتجة عن وفيات الحوادث القابلة للقياس، ونأمل أن لا يتم تفسير هذا التقدير على أنه قاعدة من نوع ما، لتحديد أفضل قيمة للميزانية المخصصة لإنقاذ الناس من الحوادث القاتلة، [17]".



رسم 4-4

نظام القيمة للتكلفة الإجتماعية للإعاقة. إستخدام مجلس الأمان الأهلي المُعادل لـ 6000 لأيام إعاقة للوفاة.، إل أيه ساجانز 1972. إفترض معدل 50 $ يومي للإعاقة، (Sagan, "Human Cost of Nuclear Power, " Science 177, pp.487-93) yields a " death equivalent" of $ 300,000 – valid for societal value analysis only.(Adopted from Starr, Rundman, and Whipple, *"Philosophical Basis for Risk Analysis,"* Annual Review of Energy 1, pp. 629-62.)

With Permission from the Annual Review of Energy and Environment, vol.1, © 1976 by Annual Reviews, www.annualreviews.org

• أمثلة على بعض إجراءات السلامة المحسنة:

هذه ليست دراسة مُختصة بالتصميم، لذا سنُعطي بعض الأمثلة فقط لتوضيح أن الأمان لا يعتمد على صفات طارئة.

المثال الأول عن القفل المغناطيسي للأبواب - كأبواب الثلاجات - الذي يحول دون وفاة الأطفال بالاختناق إذا ما احتجزوا داخل الثلاجات. إن الأقفال المُستخدمة اليوم تسمح بالفتح من الداخل دون جهد كبير، وهي أرخص أيضاً من الأقفال القديمة.

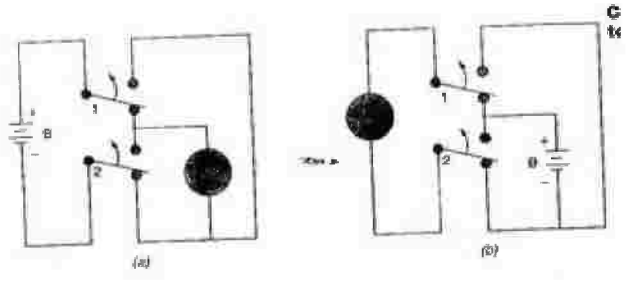
المثال الثاني عن "مقبض الرجل الميت" الذي يستخدمه سائق القطار للتحكم في سرعته، ويتم مد القطار بالطاقة مادام هناك ضغط يُبذل على المقبض. إذا ضعفت قدرة السائق على الإمساك بالمقبض وفلتت قبضته، يقف القطار من تلقاء نفسه. من المحتمل أنه يجب أن تكون أجهزة التحكم بالتجول في السيارات ذات الطراز الحديث مُجهزة بصفات مشابهة لتلك الموجودة بالقطار.

المثال الثالث نراه في طرق القطارات حيث كانت الإشارة التي تسمح له بإكمال طريقه منذ مائة عام مضت، هي رفع الكرة على سارية (لذا بعد ذلك استخدام مصطلح "هاي بول" - الكرة مرتفعة- لتعني سر بكامل سرعتك)، ولكي يتم الإشارة بالتوقف كان يتم خفض الكرة. وبعد ذلك استخدم جهاز لتلويح ذراع آلي، لكن في كلتا الطريقتين كان يتطلب الأمر شد كابل، في حين كان هناك احتمال بأن يقطع ذلك الكبل بالصدفة مما يتسبب في انخفاض الذراع معطياً إشارة بالتوقف من تلقاء نفسه.

إن نظام عكس حركة المحرك الكهربي الموضح بالشكل (4-5)، يُعطي مثالاً آخر عن كيف أن تقديم سمة أمان يتضمن مجرد الترتيب السليم للوظائف، دون أي تكاليف إضافية. كما هو تصميم الميكنة في الشكل (4-5 أ)، فإن المُوصلات اللاصقة قد تتسبب في وضع البطارية B ضمن دائرة قصيرة، ومن ثم تفريغها

من شـحنتها، وجعلها غـير مُتاحة حتى بعد انتزاع الموصـلات. إن إعادة توصـيل بسيط للأسلاك كما في الشكل (4-5 ب) يقضي على مثل هذه المشكلة تماماً.

في خضـم العجلة لإخراج منتج ما إلى السـوق، يتم تخفيف اعتبارات الأمان أحيانـاً، ولن تكون هذه قضـية كبيرة إذا تم النظر إلى المشـروع علـى أنه تجربة، تجربة تدخل في مرحلة نشطة حيث يصل المُنتج إلى أيدي المستهلك. تم النظر إلى رحلات الفضـاء من خلال نفس المنظور، لكن المشروعات العادية تتضمن أخطاراً غير سهلة الملاحظة، ومن ثم فإن الانتباه لها يكون أقل من ناحية الأمان.



رسم 4-5

المُحـولات العاكسـة لمحرك مغناطيسـي دائـم، (أ) الأذرع 1.2 للمحول كلاهما مرفوع بملف لولبـي (غير ظاهر هنا) ز إذا لم يتحرك أحدهما، مثلا، عصـا اتصـال، بينما تحرك الآخر فهناك قصـور عبر البطارية. البطارية سيتم فصلها وتُصبح غير ذات فائدة، حتى بعد الوصول للمُشكلة. (ب) بتبادل المواضع للبطارية والمحرك، قضيب المحول لن يُسبب ضررًا للبطارية. (المحرك سيحدث به قصُور دونما ضرر).

إذا كانـت الاعتبـارات الأخلاقيـة وحدهـا لا تحمـل المهندسـين وأصـحاب المشروعات على التغيير، ليكترثوا أكثر للأخطار المُحتملة فإن التهديد برفع دعاوى قضـائية كفيـل بذلك. إلا أن كل هـذا غير نافع للعامة، لأن كثيراً من القضـايا في المحاكم يتم تسـويتها وديـاً ويتم التحفظ على القرارات، ممـا يحرم باقي العامة والمُصنعين الآخرين من المعلومات المتعلقة بإجراء اختيارات مبنية على معلومات.

• موضوعات للمناقشة:

1 - يقبل عامل ما وظيفة خطرة بعد أن عُرض عليه مكافأة سنوية قدرها 2000 دولار. إن احتمالية وفاة هذا العامل في أي سنة هي 1 لكل 10 آلاف، والعامل على علم بذلك. لذا يُمكن أن ينظر لتلك المكافأة على أنها تقويم ذاتي للحياة بقيمة 2000 دولار مقسمة على 10000/1، أي 20 مليون دولار. هل كان العامل سيقبل، أم يرفض هذه الوظيفة إذا قدم له نفس العرض كالآتي: 100 ألف دولار كمكافأة على خمسين عاماً (مُتجاهلين الفائدة) واحتمالية 200/1 بحادثة مُهلكة في هذه المدة.

2 - إن مسدسات رش الدهان غير الهوائية لا تحتاج إلى مصدر خارجي من الهواء المضغوط المُتصل بالمسدس من خلال خرطوم ثقيل (على الرغم من أن هذه المسدسات تحتاج إلى سلك لتوصيلها بمصدر كهربائي)، لأنه تم إضافة محرك صغير ومضخة لها. هناك تصميم عام يستخدم محرك الحث الذاتي، الذي لا يتسبب في صدور شرارة، لأنه لا يتطلب أداة عاكسة للتيار وفرش (وهي التي تسبب الشرار)، وعلى الرغم من ذلك فإن المسدس يحمل مُلصقات تحذر المُستخدم من أن الأجهزة الكهربائية المُستخدمة في رش الدهان لها أخطار خاصة. هناك نوع آخر من المُسدسات مثل الأول يحتاج إلى سلك كهربائي فقط مُصمم لكي يكون أخف وزناً باستخدام محرك عالمي عالي السرعة، ومضخة أسطوانية الشكل. يتطلب المحرك جهازًا عاكساً للتيار وفرشاة مما يؤدي إلى حدوث شرار. هذا النوع الثاني من مسدسات الدهان تحمل تحذيراً مشابهاً لذلك الموجود على الأول، لكنه يشتمل في نصه زيادة على ذلك أنه يجب ألا يستعمل المسدس أبداً مع مخففات الدهان المحتوية على مركبات سريعة الاشتعال مثل مادة النفتا.

استعار عامل دهانات أحد هذه المسدسات من النوع الثاني، ولكي يُنظف الجهاز ملأه جزئياً بمخفف دهانات وبدأ تشغيله. أمسكت النيران بالمسدس، وأُصيب

العامل بحروق شديدة في حين انتشرت النيران. كان كتيب التعليمات موجوداً في العلبة المُصاحبة للمسدس، لكن العامل لم يقرأه لأنه من المهاجرين الجدد ولا يُتقن الإنجليزية، لكنه سبق له أن استخدم النوع الأول من المسدسات بنفس الأسلوب ولم يحدث له شيء. إن مُلصقات التحذير على كلا المسدسين شديدة التشابه. هل ترى أي مشكلات أخلاقية في استمرار الاستخدام والبيع المفتوح للنوع الثاني من المسدسات؟ ماذا يجب على مُصنع النوع الثاني من مسدسات الرش الجديدة خفيفة الوزن أن يفعله؟

عند إجابتك على هذا السؤال ضع في الاعتبار حقيقة أن المحاكم أصدرت حكماً بأن عيوب التصميم الخفية ليست معذورة بإلصاق تحذيرات بالمنتجات التي بها عيب، أو لصقها في غرفة المبيعات الخاصة بها. يجب أن يكون هناك موافقة مبنية على علم وفهم جيد، وليس على مجرد قراءة ملصقات تحذير.

3 - أظهرت اختبارات التصادم في المراحل الأولى من تطوير سيارة الفورد بينتو أنها لا تستطيع امتصاص الصدامات الأمامية بدون كسر الحاجز الزجاجي الأمامي. لذا تم تعديل التصميم بتحريك آليات الجر إلى الخلف بحيث أصبح صندوق التروس التفاضلي (Differential) قريباً من خزان الوقود. عندما طرحت السيارة في السوق في أوائل السبعينيات، أدى كثير من الاصطدامات الخلفية إلى انفجار خزان الوقود، الذي أدى في الوقت نفسه إلى رفع دعوات قضائية كثيرة. ادرس قصة هذه السيارة واسأل نفسك متى، وبأي معنى، يمكن تسعير الروح البشرية [18]، إضافة إلى ذلك، لماذا لم يستفد مصنعو سيارات جنرال موتورز GM من تجربة فورد؟ إن خزانات الوقود في الشيفروليه ماليبو موديل عام 1979 كانت قريبةً جداً من المصدات، حيث انفجرت في اصطدام خلفي عام 1993 مؤديةً إلى نتائج مُهلكة. شهد أحد المهندسين العاملين في GM أن تحريك الخزان إلى الأمام وحمايته قد يُكلف

39 , 8 دولار لكل سيارة، في مقابل 4 , 2 دولار لكل سيارة عن الأضرار المُحتملة - كمعدل عام لكل السيارات في خط الإنتاج. في أغسطس عام 1999 قامت هيئة المُحلفين بمنح عائلة باتريشيا أوزرين تعويضا عن الخسائر قدره 107 ملايين دولار، بالإضافة إلى 4 , 8 بلايين دولار للأضرار العقابية (عُرضة للاستئناف) الناتجة عن الاصطدام الذي حدث عام 1999.

3 - نظرة على بعض الحوادث الهندسية

كلما أصبحت أنظمتنا الهندسية أكثر تعقيداً صارت أصعب في تشغيلها، وكما يُجادل تشارلز بيرو [19] Charles Perrow أن أنظمتنا التقليدية تميل إلى تضمن سماح كاف (slack)، مما يسهل إصلاح انحرافات الأنظمة في التوقيت المناسب. ويُشير إلى أن الأنظمة الجزئية في هذه الأيام تأتي مُلتصقة في نظام كامل أكثر تعقيداً، حيث إنه لايُمكن تغيير مساره بأمان إلا إذا تم ذلك بسرعة وبدقة. في العادة، قد يؤدي الفعل التصحيحي الذي يقوم به عمال تشغيل إلى تدهور الوضع، لأنهم لا يعلمون ما هي المشكلة في الأصل. فعلى سبيل المثال عندما أُعلنت حالة الطوارئ في ثري مايل آيلاند (وسيتم شرحها لاحقًا) كان يجب على الطابعة تسجيل إشارات الإنذار الكثيرة التي صدرت، بيد أنها كانت مُتأخرة ساعتين ونصف الساعة في عرض الأحداث.

يتمنى المصممون أن يكفلوا نسبة أمان أكبر خلال حالات الطوارئ بأن يُخرجوا عمال التشغيل خارج الدائرة، ويستبدلوا أعمالهم بالميكنة. يجب على سياسة التحكم أن تكون مبنية على قواعد صريحة التحديد. هذا في حد ذاته يوجد مشكلة لأنه:

(1) ليست كل الأحداث الناتجة يُمكن التنبؤ بها، (2) حتى تلك الأحداث التي يُمكن التنبؤ بها سوف يتم برمجتها على يد مُصمم آدمي يُمكن أن يُخطئ. بالإضافة إلى ذلك هناك مُشكلة أخرى تنتج عن فشل النظام الأوتوماتيكي ووجوب استبدال الكمبيوتر بعامل تشغيل، ليقوم بمهمة تتطلب قرارات عديدة سريعة.

إن أخطاء عمال التشغيل هي السبب الرئيس وراء حوادث المُفاعلات النووية في ثري مايل آيلاند وتشيرنوبل. ظهر وراء هذه الأخطاء عيب كبير في كلا المفاعلين: الاحتياطات غير المُلائمة في إخلاء السكان القريبين. يتكرر هذا القصور في "مخارج الأمان" في الكثير من أنظمتنا المُبهرة والمُعقدة.

في الحالة الثالثة سوف ندرس كيف أن التعاون بين مهندس التصميم، ومهندس الإنشاء، ومُستخدم البناء، وخاصة في المنشآت الكبيرة مثل ناطحة السحاب، مهم جداً لنظام الملاحظة الدائمة بعد عملية بناء.

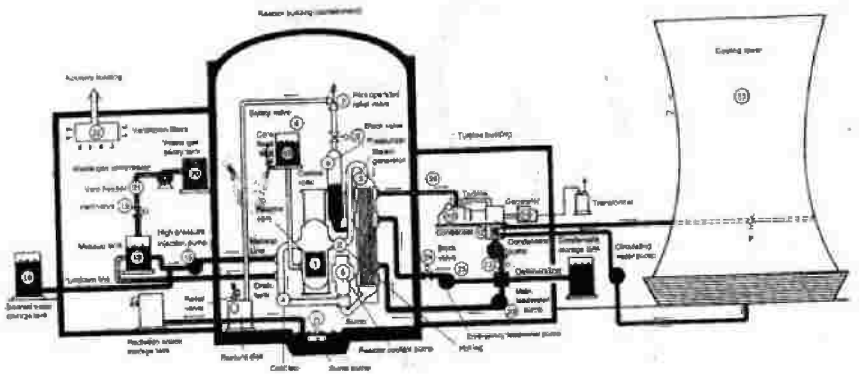
- **مفاعل ثري مايل آيلاند** TMI:

كان والتر كريتز Walter Creitz، مدير شركة الطاقة مترو بوليتان إدسون Metropolitan Edison الموجودة بحوض نهر ساسكيهانا Susquehanna، متضايقاً بوضوح من سلسلة مقالات ظهرت في صحيفة ريكورد، وهي صحيفة يومية محلية تصدر في مدينة يورك بولاية بنسلفانيا، وقد نوهت صحيفة ريكورد بالظروف غير الآمنة في الوحدة الثانية للمُفاعل النووي لشركة مترو بوليتان إدسون الموجودة في ثري مايل آيلاند (Three Mile Island). نبذ كريتز هذه القصص على أنها "شيء أقل من عمل وطني، ومثله بالتهور في الإنذار بحريق وسط مسرح مُزدحم"، بعد ذلك ببضعة أيام تطورت بعض الأعطال البسيطة إلى سلسلة من الأحداث جعلت ثري مايل آيلاند كلمة مألوفة حول العالم [20].

هذا ما حدث باختصار [21]. في الساعة الرابعة فجراً يوم 28 مارس 1979 كانت الوحدة TMI-2 تعمل تحت تحكم آلي كامل بكفاءة قدرها 97٪ من إنتاج الطاقة المسموح بها. وكان طاقم الصيانة يعمل 11 ساعة متتالية على مشكلة صغيرة مُتكررة الحدوث.

إن حبيبات الراتينج (Resin) تُستخدم في عدة أجهزة لترشيح جزيئات المعادن (مشار لها رقم 14 في الشكل 4-6)، لتنظيف المياه في طريقها من مُكثف

البخـار (رقـم 12) عائـدة إلى مولد البخار (رقم 3). سـدت حبيبـات الراتينج الأنبوب الواصـل من جهاز ترشـيح المعادن إلى الخزان، حيث يتم تجديد حبيبات الراتينج. عند شطف الأنبوب بالماء لتسليكه تراجعت كمية صغيرة من الماء بمقدار كوب في خط الهواء الذي يمد خزان تجديد حبيبات الراتينج، لكن خط الهواء هذا متصل بخط الهواء الآخر الذي يخدم نظام التحكم في الصمامات الكبيرة المركبة على مخارج أجهزة ترشـيح المعادن. لذا فما حدث هو أن هذه الصـمامات أُقفلت دون توقع ودون سابق إنذار.



رسم 4-6

عرض تخطيطي لوحدة مصـنع الطاقة النووي في ثري ميل أيسـلند، نظام مُفاعل الماء المضـغوط، الحرارة من قلب المُفاعل (1) محمول بعيداً بالماء في الدارة الأولية (1،2،3،4،5) في مولد بخار (3) و الحرارة منقولة للماء في دارة ثانوية (26) و عند الضغط المنخفض و ماء الدارة الثانوية يتحول إلى بخار في مولد البخار أو المرجل (3)، يدفع التوربين (10)، ويتحول لماء في المُكثف (12)، ويدور عائداً إلى (3) بواسطة المضخات (13، 23،25)

(Adopted From John f.Mason, " The Technical Blow-by –Blow:An Account of the Three Mile Island Accident, " IEEE Spectrum, 16 [November 1979], Copyright © 1979 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. And From Mitchle Rogovin and George T.Frampton Jr., Three Mile Island: A Report to the Commissioners and the Public, vol. 1, Nuclear Regulatory Commission Special Inquiry Group, NUREG/CR= 1250. Washington, DC [January 1980])

ومع اعتراض سريان المياه في الدورة الثانوية (رقم 26) انطفأت كل مضخات التكثيـف التعزيزية إلا واحدة، مما تسـبب في تعطيل مضـخات التغذية الرئيسـة (رقـم 23) ومحرك التوربينة (رقـم 10)، ومن ثم بدأ نظام الطوارئ بالتشـغيل

الذاتي لمضخات تغذية المياه الإضافية (رقم 25)، ولكن بتعطل محركات التوربين كان هناك مخرج صغير للحرارة التي تولدها عملية الانشطار النووي في جوف المفاعل. زاد الضغط في المفاعل لأكثر من 2200 باوند لكل بوصة مُربعة مما أدى إلى فتح صمام التنفيس، أو تخفيف الضغط (رقم 7) ومُؤشر بـ (SCRAM) حيث تنخفض قضبان التحكم إلى قلب المفاعل لإيقاف عملية الانشطار الرئيس.

نجح الصمام المفتوح في تقليل الضغط، وأصبح الصمام جاهزاً للإغلاق، وأُعيد شحن الملف اللولبي الخاص بالصمام، وكان عمال التشغيل يتابعون ذلك من خلال الإشارات الضوئية الموجودة على لوحة التحكم. لكن حدث شيء خطأ: ظل الصمام مفتوحاً على عكس الإشارات الموجودة على لوحة التحكم، باستثناء هذا الخطأ، تقدم كل شيء آخر آلياً كما يجب أن يكون. ولكن إشارات لوحة التحكم لم تشر إلى شيء خطير: إن المضخات المساعدة (رقم 25) التي بدأت تعمل آلياً لا يمكنها أن تمد بالمياه المساعدة لأن صمامات الحجز (رقم 24) تركت مُغلقة دون عمد بعد أعمال الصيانة التي تمت بها قبل ذلك بيومين. استمر مولد البخار (3) في الغليان دون المياه المساعدة بعد انقطاع دورة المياه (26)؛ والآن أصبح هناك عدم قدرة على إزالة الحرارة من المُفاعل إلا من خلال صمامات التنفيس، وكانت المياه تنساب خارجاً بمعدل ٢٢٠ جالون في الدقيقة. لم يكن المُفاعل قد برد بعد حتى بعد أن أطفأت قضبان التحكم عملية الانشطار النووي الرئيس، كان هناك كمية من الحرارة تنتج عن التآكل الإشعاعي المستمر للمخلفات النووية.

تسبب فقدان المياه في المفاعل في أن مجموعة من المضخات موضوعة، رقم (15) بالمبنى الإضافي بدأت آلياً، بالإضافة إلى مضخة أخرى بدأت يدوياً على أيدي عمال التشغيل لتسريع عملية تعويض نقص المياه إلى قلب المفاعل. وبعد ذلك بقليل بدأ نظام الطوارئ لتبريد قلب المفاعل في العمل استجابة للضغط المُنخفض بالمُفاعل. قد يُعزز الضغط المُنخفض بالمُفاعل تكوين رغاوي البخار التي تبطئ من عملية انتقال الحرارة من الوقود النووي إلى الماء. هناك جهاز ضغط مُصمم

لكي يُبقي المياه في المفاعل تحت الضغط المناسب، ويقع صمام التنفيس فوق جهاز الضغط هذا، والذي يُستخدم مستوى السائل في جهاز الضغط بطريقة غير مباشرة كأداة لقياس مستوى المياه في المُفاعل.

تسبب البخار الموجود في المفاعل في ارتفاع مستوى الماء في جهاز الضغط ومن ثم اعتقد عمال التشغيل أنهم حلوا المشكلة، وأن لديهم الآن مياهاً أكثر من اللازم في المُفاعل، ومن ثم أطفؤوا نظام الطوارئ لتبريد الوقود، وكل شيء ماعدا إحدى مضخات الطوارئ. وبعد ذلك استمروا في تصفية المياه بمعدل 160 جالون في الدقيقة من المُفاعل، مما تسبب في انخفاض الضغط. عند هذه النقطة لم يكونوا على دراية بالمياه، التي تهرب من صمام التنفيس المفتوح، لقد توقعوا بعض التسريب، الذي كان يحدث في الواقع تحت الظروف العادية بسبب التركيب غير المحكم للصمام. وهذا كان السبب في تجاهلهم قراءات الحرارة المرتفعة في المواسير (بعد الموقع رقم 7).

غطت فُقاعات البخار الآن معظم قضبان الوقود، وبدأت رؤوس هذه القضبان في التفتت. كما بدأت تفاعلات بين البخار والطلاء المعدني (Zircaloy)، الذي يغطي قضبان الوقود في إنتاج الهيدروجين، الذي تسرب بعضه إلى فراغ غلاف الحماية حيث انفجر.

أصبح الموقف رهيباً بعد بداية الحدث الأول بساعتين، وعندها وصلت النوبة الثانية للعمل، وببعض الرؤى الجديدة للموقف استنتجوا أن صمام التنفيس قد يكون مفتوحاً، وقام الطاقم الجديد بسد الصمام (رقم 9) في خط التنفيس. ومع زيادة مستويات الإشعاع داخل غلاف الحماية انطلقت أجهزة الإنذار العامة، في حين كان هناك اتصال هاتفي مستمر للجنة تنظيم الطاقة النووية (NRC) وبابوك وويلكاكس (Babcock & Wilcox (B&W)، الذي أنشأ أبنية المُفاعل، لم يكن هناك أحد من المكتب الإقليمي للجنة تنظيم الطاقة النووية ليجيب على

الهاتف، وكان عليهم ترك رسالة مسجلة في خدمة الرد على الهاتف. لم يسمع رئيس هيئة المطافئ في ميدل تاون القريبة بهذا الحادث إلا في الأخبار المسائية.

وفي ذلك الحين كانت هناك مضخة تنقل المياه المُفرغة من المبنى غلاف الحماية الرئيس إلى مبنى إضافي متجاور، وليس في خزان كما هو المقصود في مثل هذه الحالات. ولّما صدرت إشارات بأن هناك إشعاعات يحملها الهواء في غرفة التحكم كان الكل مُجبرين على إخلاء المبنى إلا القليل من الأشخاص الذين يضعون كمامات، حيث أعاقت هذه الكمامات التواصل بين عمال التشغيل.

أخيراً قرر عمال التشغيل أن يُعيدوا مضخات حقن الضغط العالي إلى العمل ثانية، كما كان مقرراً للنظام الآلي أن يفعل منذ البداية. وتم غمر جوف المفاعل مرة أخرى بالمياه، بالرغم من أنه كان لا يزال يوجد بعض البخار وفقاعات الهيدروجين. وبعد ثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة منذ بداية الأحداث كان هناك أخيراً أمل للتحكم بالمُفاعل. وبالرغم من ذلك كانت الحيرة قائمة حول ما حدث بالفعل لعدة أيام.

شاهد جميع الناس عبر الدولة التغطية التلفزيونية في دهشة وعدم تصديق، حيث أظهرت الجهات المسؤولة قصوراً مهمًّا في استعدادات الطوارئ في كل من موقع المفاعل، ومراكز تخطيط الإخلاء. وبعد ذلك بسنين لا يزال الفرد يقرأ عن التكاليف المُتراكمة لإجراء عملية تفكيك (سحب بالوقود، وإزالة التلوث، والدفن) الوحدة 2 في TMI وقد وصلت إلى بليون دولار للآن، وكانت تكلفة بنائه 700 مليون دولار. كانت حادثة ثري مايل آيلاند كارثة مالية وضربة لسمعة الصناعة، لكن لحسن الحظ كان التسريب النووي منخفضاً، وكانت التقارير للإصابة بمرض السرطان أعلى بقليل من المعدل الطبيعي.

- **مفاعل تشيرنوبل** Chernobyl:

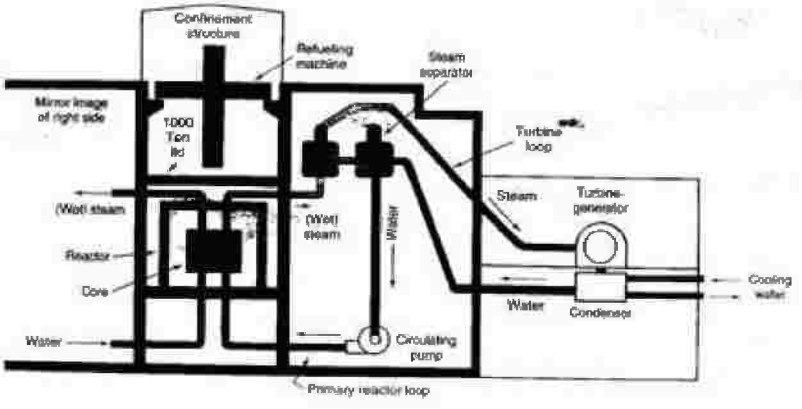
كان لمُجمع الطاقة النووي في تشيرنوبل بالقرب من كييف (أوكرانيا التي كانت ضمن الاتحاد السوفييتي وقتها) أربعة مُفاعلات جاهزة للعمل بحلول عام 1986. وبالتخطيط لإضافة الوحدتين 5 و 6 حيث بدأت لها أعمال التأسيس بحيث يكون ثاني أكبر مُجمع لتوليد الطاقة الكهربية بطاقة إنتاج 6000 ميجاوات. كان المُفاعل من نوع RBMK، وهو ذو وسائط جرافيتية، وتستخدم ضغط مواسير المياه المغلية، [22]. تصدرت تشيرنوبل وبرنامج الطاقة النووي السوفييتي الصفحات الأولى في أعداد عام 1985 للمجلة الروسية "سوفييت لايف (الحياة السوفييتية)" التي تحرر بالإنجليزية. وعرضت المقالات أمان الطاقة النووية ونسبة الخطر القليلة للحوادث والتعرض للإشعاع. والآن أصبحت كلمة تشيرنوبل قرينة لأسوأ حريق لمُفاعل نووي في العالم.

كان مُخططاً في 25 إبريل 1986 أن يتم إجراء اختبار على المُفاعل رقم (4)، لتحديد المدة التي تستطيع فيها طاقة القصور الذاتي لكتلة دوران مولدات التوربينات في إبقاء المولد في الدوران وإنتاج الطاقة الكهربية بعد إغلاق موارد البخار (شكل 4-7). كان هذا مثيراً للاهتمام لأنه يجب على مضخات تبريد المُفاعل والماكينات الكهربائية المُهمة الأخرى أن تستمر في العمل، في حالة الاضطرار إلى فصل المولدات فجأة من شبكة الطاقة إذا حدث خلل بالشبكة. يوجد مولدات خاصة تعمل بالديزل في إمداد المفاعل بطاقة الطوارئ، لكنه لا يمكن الاعتماد على مصادر الديزل في أن تعمل من غير إبطاء. تم إجراء هذا الاختبار بصفته جزءًا من إغلاق مخطط للمفاعل لأغراض الصيانة العامة.

بما أن مُفاعل RBMK يتطلب طاقة حرارية بقدر 3600 ميجاوات لتوليد طاقة كهرباء بمقدار 1200 ميجاوات. تم تسريع إنتاج الوحدة (4) تدريجياً من 3600 ميجاوات (حراري) إلى 1600 ميجاوات، وكان يجب إنزاله ببطء إلى ما بين

1000 إلى 700 ميجـاوات، لكن في الثانية بعد الظهر كان الجهاز المُتحكم بالسـرعة في كييف يتطلب أن يستمر الإنتاج على ما هو لتلبية طلب غير متوقع، هذا كان يعنى تأجيل الاختبار. غير أنه من أجل التجهيزات السابقة للاختبار كان يجب على عمال تشـغيل المُفاعل فصـل نظام الطوارئ لتبريد جوف المفاعل، لكي لا يؤثر اسـتهلاكه للطاقة في نتائج الاختبار، وكان هذا أول انتهاك لكثير من احتياطيات الأمان.

حـدث خطأ آخر عندما لم يتم إعادة برمجة جهاز التحكم بصـورة جيدة لإبقاء الطاقـة علـى مسـتوى 700 إلى 1000 ميجـاوات. وفي الحادية عشـرة مسـاءً تم الإذن للمُفاعل بتقليل طاقته، ونزل إنتاجه إلى 30 ميجاوات، حيث أصبح من الصعب التحكم بالمُفاعـل. وبـدلاً من تعطيل المفاعل حاول عمال التشـغيل الاسـتمرار في الاختبار برفع قضبان التحكم بزيادة الطاقة. وبدلاً من إبقاء عناصر التحكم مُدخلين كما هو مطلوب، قام عمال التشـغيل برفع كل قضبان التحكم تقريباً، لأنه عند مستوى الطاقة المنخفض يصبح الوقود مُسمماً بمادة الزينون 135- (xenom-135) الذي يمتص النيترونات.



رسم 4-7

رسـم تخطيطـي للمُفاعل 4 – تشـيرنوبل ز نوع المُفاعل RMBK يُنتج بُخار لاثنين -500 ميجـاوات مولد خار توربينى، واحد فقط ظاهر بالرسم

(Adopted from John F. Ahearne, " Nuclear Power After Chernobyl, " Science 236 (May 1987), p. 674)

Reprinted with Permission from "Nuclear after Chernobyl," Science 236 (May 1987) p. 674, ©Copyright 1987 American Association for The Advancement of Science.

استمر إنتاج الطاقة مستقراً عند مستوى 200 ميجاوات (حراري)، وكان لايزال أقل من متطلبات الاختبار، لكنهم استمروا في تنفيذ الاختبار، ووفقاً لبروتوكولات الاختبار، تم تشغيل مضختين متداولتين إضافيتين لتنضما إلى الست التي تعمل. ذلك ليسهم في أمان المُفاعل تحت مستويات إنتاج الطاقة المعتاد، ولكن عند مستوى 200 ميجاوات يتطلب ذلك كثيراً من التعديلات اليدوية للحفاظ على توازن البخار والماء. بالإضافة إلى ذلك "فإن عمال التشغيل عند هذه النقطة لاحظوا أنه بسبب عدم استقرار المُفاعل، والطريقة التي يزيد بها الزينون السام يجب عليهم الانتظار طويلاً عند إغلاق المُفاعل قبل الشروع في تشغيله مرة أخرى [23]، لذا اتخذوا القرار بأن يستمروا في الاختبار، وأطفأ عمال التشغيل إشارات الطوارئ التحذيرية، وأجهزة الإغلاق الآلي، لأنها ستعمل عندما يرفعون الحمل الكهربي.

ومن ثم أصبح المفاعل في وضع غير ثابت: " أصبح المُفاعل الآن طليقاً ومنعزلاً عن العالم الخارجي، قضبان التحكم تم فصلها، وأيضا نظام الأمان الخاص به." كتبت فاليري ليجاسوف Valery Legasov ممثلة الاتحاد السوفييتي في لجنة الطاقة الذرية الدولية (IAEC) في تقريرها عن الحادثة: "كان المُفاعل حراً ليفعل ما يحلو له، [24]."

بدأ الاختبار في الساعة 1:23 بعد مُنتصف الليل. عندما كانت صمامات البُخار مُغلقة وتم رفع الحمل عنها، وارتفعت حرارة وطاقة المُفاعل بحدة. فعلى عكس مُفاعلات ذات الوسيط المائي، فإن مُفاعلات ذات الوسيط الجرافيتي مثل نموذج RBMK تستخدم الماء فقط بيئة لنقل الحرارة وليس وسيطاً. كلما زادت حرارة الجوف سمحت بزيادة الانشطار النووي. هذا التأثير الإيجابي أنتج موجة من الطاقة في المفاعل رقم (4) من 7٪ إلى مئات المرات من مستوى الإنتاج الحراري المسموح به: "كان التأثير موازياً لنصف طن من متفجرات (TNT) تنفجر في جوف المفاعل. لم يكن هناك فرصة للوقود كي يذوب، لقد انشطر ببساطة إلى شظايا، [25]. عندئذ اتصل الوقود عارياً من كسوته بالماء، وحدث

انفجار ثان (كان انفجار البخار على الأرجح)، ورفع ذلك الانفجار الأرضية التي تزن 1555 طن من الخرسانة، التي تفصل المُفاعل عن منطقة إعادة تعبئة الوقود فوقه. وتفاعل طلاء القضبان من مادة الزركونيوم مع المياه الموجودة منتجة الهيدروجين. هذا أنتج انفجاراً هائلاً يشبه الصواريخ المُتصاعدة للسماء، وهذه أمطرت مجمع الطاقة بوابل من الوقود والجرافيت المُتوهج، في حين صعدت الإشعاعات إلى السماء على شكل ريشة هائلة بفعل الحرارة.

ما تلا هذا الحادث كان أسوأ وأقل عذراً عن الحادثة نفسها، فبينما كان رجال الإطفاء يفقدون أرواحهم من جراء التعرض للإشعاعات النووية خلال إخماد الحريق الهائل، استغرق إنذار المُجتمعات المجاورة من أخطار الإشعاع ساعات طويلة.

علمت موسكو بوجود مشكلة فقط عندما استبان لعمال تشغيل مفاعل نووي في السويد البعيدة بوجود إشارات تدل على زيادة في النشاط النووي. لم تكن الجمهوريات السوفييتية وباقي أوروبا مُستعدة للتعامل مع مثل هذا الحدث الخطير، خصوصًا ما يتعلق بالانتشار الإشعاعي. أخذت كثير من الدول على موسكو عدم إعلانها، ولكن هذه الدول لم يكن لديها أجهزة مراقبة خاصة بها، أو حتى لمُراقبة مُفاعلاتها النووية المحلية. اعتمدت بعد ذلك الإرشادات اللاحقة للحدث حول شُرب الحليب وأكل الخضر والسماح للأطفال باللعب في الخارج واهتمامات العامة الأخرى في أوروبا على الميول السياسية والمواقف المُساندة أو المُناهضة للطاقة النووية لوزارات الصحة المختصة.

أثرت الحروق والأمراض الإشعاعية الحادة على 200 عامل من عمال مُفاعل تشيرنوبل، وقد توفي 31 عاملاً منهم بسرعة شديدة. وبحلول عام 1992 جاء تقرير بعدد الوفيات المُفرطة التي لها علاقة بتشيرنوبل تجاوز 6000 فرداً في أوكرانيا وحدها، وهناك أطفال كثيرون في مدينة بيلاروث يعانون من تورم في الغدة الدرقية

لدرجة أن هناك ١٠ آلاف مصاب بالسرطان زيادة عن العدد المتوقع، [26]. وتم إجلاء ألف عائلة التي كانت تسكن في مُجمعات العمال التي تبعد عن المُفاعل ميلاً واحداً بعد 12 ساعة من الانفجار، لكن المُفاعل لم يكن مسؤولاً وليس له علاقة مُباشرة بأي مجتمعات موجودة خارج منطقة المُفاعل المحددة بدائرة قطرها ميل ونصف الميل من موقع المُفاعل. بدأ في اليوم اللاحق إخلاء قرية بريبيات Pripyat و71 قرية أخرى كانت موجودة على بعد 18 ميلاً من المُفاعل. وكان يجب إخلاء 135 ألف شخص بالحافلات والشاحنات، وتم بناء قُرى جديدة عديدة لإسكان الأشخاص النازحين. وبالإعلان اعتباطيا عن معدل للجرعة الآمنة من الإشعاعات يفوق عشر مرات معدلها السابق، استطاع البوليتبيرو Politbureau أن يتفادى عبء إخلاء 1,25 مليون شخص آخر في المناطق المحيطة وإعطاء العناية الصحية لمزيد من لأشخاص الكثيرين الذين تعرضوا لأخطار الإشعاع. ولكن كبار المسؤولين في ذلك الحين قاموا بنقل أسرهم في هدوء تام من مدن حتى أبعد من كييف، في حين طُلب من العامة الظهور في الهواء الطلق والمشاركة في احتفالات يوم مايو.

كانت تأثيرات الإشعاع ذات المدى القريب والبعيد على البشر والثروة الحيوانية في أوروبا مثار جدل ونقاش لسنين عدة تلت تلك الحادثة. وبعد مرور سبع سنوات، أصبح من الواضح جداً أن الإشعاعات التي تسربت أكثر بكثير من التي تم تقديرها مسبقاً، لأن الوهج الأحمر الذي استهدفه الطيارون بالرمال والطمي والدولومايت لم يكن صادراً عن المُفاعل كما كان مُعتقداً، وإنما كان صادرًا عن قطعة صغيرة من عنصر جوف المفاعل، قذفت مسافة 50 قدماً من المفاعل. وتم انتشار التلوث أيضاً من خلال الخلط المقصود للمنتجات الزراعية المُتأثرة بالإشعاع مع المُنتجات الزراعية السليمة، التي تم تصديرها لأرجاء أخرى من الاتحاد السوفييتي.

تم تغليف المُفاعل بعد الحادث بتابوت أسمنتي لم يكن مُحكم الهواء، وإذا حدث بشكل عارض أن الغطاء الموجود أعلاه انزلق من فوقه، فقد ينتج عن ذلك انتشار الغُبار الإشعاعي. لكن تم بناء أنفاق تحت المفاعل يجري بها نيتروجين

سائل ليبقى المُفاعل بارداً، وفي نفس الوقت خدمت هذه الأنفاق في تسهيل وضع طبقة خراسانية لمنع تسرب المياه المشعة إلى مصدر الماء.

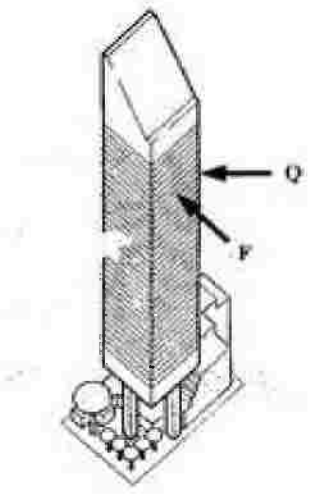
• ناطحة سحاب سيتي كورب:

إن قضية برج سيتي كورب Citicorp في نيويورك تُلقي الضوء على الحاجة لمراقبة المشروعات، حتى بعد أن يفرغ المهندسون المُشاركون من مهماتهم الحالية. إن المناسبة التي دعت إلى مراجعة تصميم الهيكل الخرساني ظهرت بطريقة غير مخطط لها، ولكن لحسن الحظ تم تحديد وحل مُشكلات التشييد في الوقت المناسب، قبل أن يتم تدمير ناطحة السحاب على يد إعصار متوقع.

واجه مهندس المعمار هيو ستابنز Hugh Stubbins ومُهندس الإنشاء بيل لوميسورير LeMessurier Bill مُشكلة كبيرة عندما كانا يعملان على مُخطط بناء خامس أطول ناطحة سحاب في مدينة نيويورك. كانت كنيسة سانت بيتر لوثران St. Peter's Lutheran تملك وتشغل جزءاً من قطعة الأرض المُخصصة كلياً لبناء ناطحة السحاب. وتم التوصل إلى الاتفاق الآتي: أن يبدأ بُرج البنك من ارتفاع الطابق التاسع مرفوعاً على أعمدة خرسانية مُثبتة في منتصف كل جانب من المبنى، ويتم إنشاء مبنى جديد للكنيسة بحرية على طراز سانت بيتر تحت أحد الأركان الكابولية للمبنى. يُظهر الشكل 4-8 برج سيتي كورب، وهو ما تم بناؤه في عام 1977، ويمكن رؤية مبنى الكنيسة الجديد تحت البرج في الركن الأيسر السفلي.

كان إنشاء لومايسوريور LeMessurier للناطحة شاذاً عن العادة، ولذا فإنه يمثل تجربة حقيقية تتضمن الآتي: الركائز ليست موضوعة في أركان المبنى، كما أن نصف حمل الجاذبية بها، وأحمال الرياح كانت مدعمة بهيكل إنشائي غير معهود، يستخدم أربطة لأحمال الرياح خارج المبنى، [27]. بالإضافة إلى ذلك ثبت لومايسوريور مخمدات الكتلة المتناغمة، وهي الأولى من نوعها في المباني الشاهقة الارتفاع، لحماية المبنى من التأرجح مع الرياح.

وكما ورد على لسان جومور جينيسترن Joe Morgenstern في قصة (نيويوركر) [28]، A New Yorker Story، أن الأسئلة التي سألها طلبة كلية الهندسة بعد عام من الانتهاء من بناء البرج دفعت لومايسوريور لمراجعة بعض المسائل الإنشائية الخاصة بالبرج، وأن يطرح على نفسه بعض الأسئلة. على سبيل المثال، هل يمكن للبناء أن يتحمل أحمالاً ناتجة عن انحرافات مُعينة للرياح القوية؟ وفي تلك الحالة، سيستقبل جانبين من المبنى القوة الهائلة للرياح، ومن ثم تكون القوة الناتجة 40% أكبر من حالة تصادم الرياح باتجاه عمودي على وجه واحد من المبنى. إن النص الوحيد المتعلق بذلك في تصميم المبنى يتطلب كفاءة في تحمل إجهادات الرياح العمودية، وكان هذا يمثل الأساس الذي صممت عليه روابط أحمال الرياح. وتم تقرير أنه لا داعي للقلق، لأن التصميم الحالي للروابط يستطيع تحمل القوة الزائدة والناتجة عن الرياح المائلة دون صعوبة، مع اعتبار أن اللحامات المستعملة ذات جودة عالية.



رسم 4-8

صورة محوزمترية للبرج، تبدو الكنيسة في الشمال السفلي، أركان، أحمال الرياح، F أقسام أركان و Q الأرباع

(Adopted of an Axonometric Drawing by Henry Dong, Anspach Grossman Portugal, Inc., In Buildings Type Study 492, Architectural Record mid- August Special Issue, 1976, p.66.)

بالرغم من ذلك دفعت أسئلة الطلبة لومايسوريور إلى أن يقوم بمكالمة هاتفية من مكتبه في مدينة كامبريدج بولاية ماساتشوستس إلى مكتبه في نيويورك، وأن يسأل ستانلس جولدستاين Stanley Goldstein المُهندس المسئول عن تشييد البرج: كيف جرت عملية لحم المفاصل لعناصر الروابط، وما مدى صعوبة هذا العمل؟ وكيف كانت كفاءة العمال؟ ولكن ما أثار رعبه إجابة جولدستاين: "يا إلهي، ألم تعلم؟ لم يتم لحم المفاصل أبداً، لأن شركة بيثلحم للصلب (Bethlehem Steel) أقرت أنه لا يوجد داعٍ لأعمال اللحام." لقد أقر مكتب نيويورك ضمن صلاحياته بالموافقة على أن يتم تثبيت الروابط بمسامير لولبية بدلاً من اللحام. لكن الرياح المائلة لم توضع في الاعتبار عندما اتُخذ هذا القرار.

لومايسوريور لم يكن قلقاً لدرجة كبيرة، لأن مخمدات الكتلة المتناغمة سوف تتولى أمر التأرجح، غير أنه رجع لمستشاره ألن دافنبورت في جامعة أونتاريو الغربية ليسأل عن تأثير الرياح في المباني الشاهقة. وبعد مراجعة اختباراته السابقة لمرات الرياح على نموذج رياضي مثالي مصغر لمركز سيتي كورب أقر دافنبورت بأن حمل الرياح المائلة سيتعدى بكثير زيادة 40% المتوقعة عن حمل الرياح العمودية.

تهب بعض الرياح العاتية على نيويورك كل 16 سنة تقريبا، وهي كافية لكسر بعض مفاصل الروابط الحساسة المثبتة بمسامير، ومن ثم انهيار المبنى. لحسن الحظ فإن الروابط التي تحتاج لتقويم كان من السهل الوصول إليها، لكن العمل عليها كان سيكون مقلقاً ومُكلفاً ويتجاوز التأمين الموجود في صلاحية لومايسوريور.

ما الذي يمكن فعله؟ كما جاء على لسان مورجينسترن، فإن مُهندس الإنشاء البارز انعزل في بيته الصيفي على جزيرة في بحيرة بياجو في ولاية ماين، وهناك في الهدوء بدأ العمل مرة أخرى على التصميمات ونتائج اختبارات نفق الرياح.

وعندها وضع كل الاحتمالات نصب عينيه، كان الصمت أحدها، وكان دافنبورت هو الوحيد الذي عرف المشكلة بكل أبعادها ولن يكشفها لأحد. كان الانتحار احتمالاً آخر. فإذا قاد لومايسوريور سيارته على طريق ماينترينبيك بسرعة مائة ميل في الساعة، وانحرف نحو دعامة الكوبري فسيكون قد وصل إلى مراده. لكن التزامه الصمت يعني المُراهنة بحياة الناس ضد فرص هزيلة، في حين أنه اعتبر الانتحار هو مخرج للجبناء. بيد أن الرؤية التي تملكته اللحظة اللاحقة كانت مُقنعة كلياً، ولأنها كانت غير مُتوقعة، فقد أعطته إحساساً طائشاً بالقوة. وتذكر لومايسوريور أن لديه معلومات لايمتلكها أحد غيره في العالم: "إن لدي قوة في يدي للتأثير في أحداث غير عادية، أستطيع أنا فقط المبادرة بها، أشكرك ربي لأنك أوضحت لي هذه المشكلة جلياً، لدرجة أنه لا يوجد أي خيارات أخرى، [29]."

أصبح التصرف السليم واضحاً أمام لومايسوريور وقام بالتحرك بسرعة. التقى هو والمهندس المعماري بشركات التأمين والمحامين وإدارة البنك وهيئة بناء المدينة لكي يشرحوا لهم المشكلة. وتم الاتفاق على خطة تعديل: سيتم تدعيم روابط أحمال الرياح في المواقع الحرجة "بلحام شرائح من الحديد الصلب بسماكة بوصتين فوق أكثر من 200 مفصل." اختفي الصحفيون الذين تجمعوا في البداية حول حشد المحامين، الذين حضورا من مكاتب مختلفة، عندما أُغلقت كبرى جرائد نيويورك خلال إضراب. طلب المحامون نصيحة ليسلي روبرتسون، Leslie Robertson وهو مُهندس إنشائي لديه خبرة في التعامل مع الكوارث. قام بتنبيه مكتب عمدة المدينة لإدارة الطوارئ والصليب الأحمر، لكي يتم وضع احتياطات إخلاء المباني المُحيطة بالبرج في حالة إصدار إنذار برياح عاتية، وقام روبرتسون أيضاً بالترتيب لتركيب شبكة من حساسات قياس الإجهادات في الأماكن الإستراتيجية بالمبنى. هذه الحساسات سمحت بقياس انفعالات الصلب في أماكن بعيدة. أصر لومايسوريور على تركيب مولد طوارئ للتأكد من أن مخمدات الكتلة المتناغمة تعمل طوال الوقت.

عندما ظهر إعصار إيللا (Ella) بالقرب من الساحل كان هناك بعض القلق، لكن العمل على المفاصل الحساسة كاد ينتهي. لكن لحسن الحظ قام الإعصار بتغيير اتجاهه ولم يكن هناك داع للإخلاء. حتى مع ذلك فإنه تم إنجاز التعديل، وتحديث مخمدات الكتلة المتناغمة، ليتحمل المبني عواصف مدة 200 عام.

لم يتم رفع دعوى قضائية، وقام جميع الأطراف بتسوية المشكلة خارج المحاكم." خرج لومايسوريور بسمعته ليس فقط غير مشوهة ولكن زادت تألقاً." نحن نعده مثالاً صالحاً للمهندس، الذي يعرف كيف يقوم بتجربته الهندسية كاملة بما فيها مراقبة المنتج النهائي – وهو البرج.

• المخرج الآمن:

إنه من المستحيل تقريباً بناء منتج آمن تماماً أو منتج لايفشل أبداً. أفضل ما يستطيع أن يقوم به الفرد هو تأكيد أنه عندما يفشل المنتج (1) أنه سيفشل بأمان (2) يمكن إخلاؤه بأمان، أو على الأقل (3) ممكن للمُستخدم أن يهرب من المُنتج بأمان. دعونا نُسمي الخيارات الثلاث السابقة بالمخارج الآمنة. إنه ليس من الواضح على من تقع مسؤولية تحقيق المخارج الآمنة. لكن بعيداً عن تحديد من سيبني ويُركب ويُحافظ ويدفع لنظام المخرج الآمن، يظل هناك سؤال مهم وهو: من الذي يقرر أنه هناك حاجة لمخرج آمن؟

إن تحقيق المخارج الآمنة يعد مكملاً للعملية التجريبية، أو بمعنى آخر ممارسة للهندسة السليمة. يجب إجراء التجربة من دون التسبب بأي أذى مادي أو جسدي. يجب إنهاء التجربة إذا كان الأمان مهدداً. لاتقع المسؤولية كاملة على كتفي مهندس واحد، وإنما يكون متوقعاً من المهندس أن يصدر إنذارات عند عدم وجود مخرج آمن، أو القيام بإنهاء التجربة. إن الطريقة الوحيدة التي يمكن بها تبرير إكمال تجربة ما من دون مخرج آمن هو أنه يجب على جميع الأطراف المعنية (ومنهم الواقعون تحت التجربة) إعطاء موافقة معلومة لإكمالها.

هناك بعض الأمثلة لما يتضمنه ذلك. تحتاج السفن إلى مراكب إنقاذ بأماكن كافية للركاب وأفراد الطاقم. تحتاج المباني إلى مخارج حريق قابلة للاستخدام. يتطلب تشغيل مُفاعل نووي أساليب واقعية لإخلاء المجتمعات القريبة. هذه أمثلة على مخارج آمنة للبشر. هناك الكثير من حوادث سيارات النقل وانحرافات القطارات التي تسببت في تعريض كثير من المجتمعات إلى الغازات السامة، كما سمح كثير من مقالب النفايات بوصول النفايات السامة إلى المياه الجوفية ومن ثم إلى الأطفال. وأخيراً قد يتطلب تفادي فشل النظام إلى أساليب احتياطية أو بديلة لإكمال العملية عندما تفشل العملية الأصلية. من الأمثلة على ذلك: أنظمة دعم الطاقة الاحتياطية لقواعد بيانات الكمبيوتر، وأنظمة التحكم بالمرور عبر الجو، والمستشفيات، وأنظمة المياه.

- **موضوعات للمناقشة:**

1 – ناقش ما تراه بصفته نقاط تشابه أو اختلاف رئيسة في ثري مايل آيلاند وتشيرنوبل.

2 – لقد قيل: إن ثري مايل آيسلند عرفتنا أخطار الطاقة النووية، وأن الحصار العربي للنفط قد قدمنا لأخطار عدم وجود طاقة. لقد تم انتقاد نزع المنتجات أو الخدمات الخطرة من السوق على أنه حصر الاختيارات للأفراد أو الدول ذات الطموح الصاعد الذين يستطيعون تحمل تكلفته الآن، والذين قد يتحملون أكثر من نصيبهم من الأخطار دون أي فوائد. أخيراً، ترى أن القادة كانوا دائماً يُعرضون أنفسهم للأخطار. فبدون الخطر لن يكون هناك تقدم. ناقش قضية "أخطار عدم وجود أخطار، [30]."

3 – ناقش مفهوم المخارج الآمنة باستخدام خطط إخلاء للمُجتمعات القريبة من مُفاعل طاقة نووية أو مُفاعل عمليات كيميائية. إنه مطلوب من معامل التكرير في منطقة خليج سان فرانسيسكو الآن أن يتعاونوا على تطوير خرائط تظهر

المناطق التي قد تتعرض لأخطار تلوث الهواء، التي قد تنتج عن حرائق معامل التكرير وانفجاراتها.

4 - لعب فاليري ليجاسوف، مُهندس الطاقة النووية ولاحقاً مُمثل الاتحاد السوفييتي في IAEC دوراً مهماً في احتواء حريق المُفاعل النووي في تشيرنوبل. لقد قال: إن الأخطاء البشرية هي التي تسببت في الحادث، وإذا تم النظر ولو مرة واحدة إلى تكنولوجيا الأمان بصفتها وسيلة لحمايتنا من الآلات فقد حان الوقت لكي نحمي التكنولوجيا من أنفسنا، [31]. ناقش التغيير في وجهة نظر ليجاسوف، وكيف تتفق أو تختلف مع تصريحه.

5 - احصل على نسخة من كل من المقالات الآتية التي تتعلق بشئون الأمان – أو افتقادها- في أوائل الكتابة عن الطاقة النووية واقرأها. (أ)- أدوليف أكرمان Adolph J.Ackerman "مسئولية وواجب المهندس في المعارضة" و(ب)- جون فوستر John W. Foster "مثال على اعتراض مهندس" كلاهما نشر في الهندسة الاستشارية Consulting Engineering, V.25 N3 Sept. 1965 صفحات 40-138، 44-141 على التوالي، وناقش دور تأمين الحوادث كميكنة تنظيم ذاتي مُمكنة لتأكيد وجود اهتمام كاف بمقاييس الأمان.

6 - حظيت قضايا النفايات السامة المعروفة لوف كنال ووبيرن كانسر كيلستر Love Canal Woburn Cancer Cluster باهتمام كبير في الولايات المتحدة، وتم توثيقها بدقة في الأدب التقني والشعبي. الآخر هو موضوع فيلم أسيفل أكشن A Civil Action المبني على كتاب جوناثان هار Jonathan Harr، حيث يرصد مجهودات المُحامي جأن شليكتمان Jan Schlichtmann لتحقيق العدالة باسم بعض عائلات وبرن Woburn. قارن حالات النفايات السامة، وناقش الحدود التي تمنع تسرب المعلومات وثيقة الصلة بالموضوع إلى الهيئات العامة والقضائية في مثل هذه القضايا.

• المراجع:

[1] Dan Gellert, "Whistle – Blower: Dan Geller, Airline Pilot," *The Civil Liberties Review*, September 1978

[2] William W. Lowrance, *Of Acceptable Risk* (Los Altos, CA: William Kaufmann,1976), p.8

[3] Council for Science and Society, *The Acceptability of Risks* (England: Barry Rose, Ringwood, Hants, 1977), p.13

[4] William D.Rowe, *An Anatomy of Risk* (New York: Wiley, 1977), p.24.

[5] William D.Rowe, *"What Is an Acceptable Risk and How Can Be determined ?"* in Energy Risk Management, ed. G. T. Goodman and W.D Rowe (New York: Academic, 1979), p. 328

[6] Paul Slovic, Bruch Fischhoff, and Sarah Lichtenstein, "Weighing the Risks: Which Risks Are Acceptable?" *Environment 21* (April 1979), pp.14-20 and (May 1979), pp.17-20, 32-38: Paul Slovic , Baruch Fischhoff and Sarah Lichtenstein, "Risky Assumptions," *Psychology today 14* (Jun 1980), pp. 44-48.

[7] Richard J. Arnould and Henry Grabowski, "Auto Safety Regulation: An Analysis of Market Failure," *The Bell Journal of Economics 12*(Spring 1981), p.35.

[8] Amos Tversky and Daniel Kahneman "The Framing of Decisions and the Psychology of choice," *Science 211* (January 30, 1981) p.453.

[9] William A. Starna, "A Disaster's Toll," letter to the editor, *American Heritage of Invention and Technology*, Summer 1986, commenting on "A Disaster in the Making" in the Spring 1986 issue.

[10] Milton Silverman, Philip Lee, and Mia Lydecker, *Prescription for Death*: the Drugging of the third *world* (San Francisco: University of California Press 1981); and Henry Shue, "Exporting Hazards, *Ethics 91* (July 1981), p.586.

[11] Eliot Marshall, "Deadlock over Explosive Dust," *Science 222* (November 1983), pp. 485 – 87; discussion, p. 1183.

[12] Regarding the Tacoma Narrows Bridge, see Henery Petroski, *to Engineer Is Human: The Role of Failure in Successful Design* (New York: St. Martink's Press, 1985), or M. Levy and M.Salvadori, *Why Buildings Fall* (New York: C. C. Norton & Co., 1992). For recent challenges to earlier explanations of the collapse, see Frederic D. Schwarz, "Why Theories Fall Down" *American Heritage of Invention*& Technology,Winter 1993, pp 6-7.

[13] "suit Claims Faulty Bridge Steel," *ENR (Engineering News Record)*, March 12, 1981, p. 14; see also March 26, 1981, p. 20; April 23, 1981, pp. 15-16; November 19, 1981,p. 28.

[14] Edwrad B. Haugen, *Probabilistic Approaches to Design* (New York: Wiley 1968), p.5

[15] Council for Science and Society,*The Acceptability of Risk,* p. 37.

[16] Shulamit Kahn "Economic Estimates of the Value of life," *IEEE Technology and Society Magazine,* June1986, pp. 24-29. Reprinted in Albert Flores, *Ethics and Management in Engineering* (Boulder, CO: Westview Press, 1988).

[17] Brian O'Neill and A. B. Kelley "Costs, Benefits, Effectiveness, and Safety: Setting the Record Straight," *Professional Safety,* August 1975, p. 30.

[18] Frank Camps, "Warning an Auto Company about an Unsafe Design," in whistle-Blowing!: *Loyalty and Dissent in the Corporation,* ed. Alan F. Westin (New York: McGraw- Hill, 1981), pp. 119 - 29 See also Douglas Birsch and john H. Fielder eds. *The Ford Pinto Case* (Albany, NY: State University of New York Press, 1994).

[19] Charles Perrow , *Normal Accidents: Living With High – Risk Technologies* (New York: Basic Books, 1984)

[20] Mitchell Rogovin and t. Frampton Jr., *Three Mile Island*: A Report to the commissioners and the Public, vol. 1, Nuclear Regulatory Commission Special Inquiry Group, NUREG/CR -1250, Washington ,DC January 1980), p.3. Diagram in text used with permission of Mitchell Rogovin.

[21] For details, see *Kemeny Commission Report, Report of the president's commission on the Accident at Three Mile Island* (New York: Pergamon Press 1979); Daniel F. Ford, *Three Mile Island* (New York: Viking,1982) ; John F. Mason , "The Technical Blow – by – Blow : An Account of the Three Mile Island Accident," *IEEE Spectrum 16* (November 1979), pp.33-42 ; Thomas H. Moss and David L. Sills, eds., *The Three Mile Island Nuclear Accident: Lessons and Implications,* vol. 365 (New York: Annals of the New York Academy of Sciences, New York, 1981); Bill Keisling, Three Mile Island (Seattle, WA : Veritas, 1980); Daniel Martin, *Three Mile Island: Prologue or Epilogue ?* (Cambridge, MA: Ballinger, 1980).

[22] David R.Marples, *Chernobyl and Nuclear Power in the USSR* (London: Macmillan Press, 1986); Mike Edwrads, " Chernobyl – one Year After," *National Geographic 171*(May 1987) , pp. 632- 53

; Grigori Medvedev, *The Truth about Chernobyl* (New York: Basic Books, 1991) ; Alla Yaroshinskaya , *Chernobyl, the Forbidden Fruit* (Oxford: Jon Carpenter, 1994).

[23] John F. Ahearne, " Nuclear Power after Chernobyl," *Scienee 236* (May 1987), pp. 673-79 ; discussion by E.G Silver and J. F. Ahearne, *Science 238* (October 1987), pp. 144- 45.

[24] Nigel Hawkes, Geoffrey Lean, David Leigh, et al., *Chernobyl – the End cf the Nuclear Dream* (New York: Vintage, 1986), p. 102

[25] Ibid

[26] Testimony by Murray Feshbach before U.S Senate Hearing in 1992 ; S. Hrg.102=765

[27] Buildings Type Study 492, "Engineering for Architecture: Citicorp Center and St. Peter's Lutheran Church," *Architectural Record*, Mid- August Special Issue, 1976), pp. 61-71 ; Charles Thornton "Conversation with William LeMessurier," *Exposed structures in Building Design*, C.H. Thornton et al. (New York: McGraw- Hill, 1993).

[28] Joe Morgenstern , " The Fifty- Nine Story Crisis," The New York May 29 1995, pp. 45-53. Check also the online Ethics center for Engineering and Science (Http:/ethics.cwru.edu/).

[29] Ibid.

[30] Aaron Wildavsky, " No Risk Is Highest Risk of All" *in Ethical Problems in Engineering* 2nd ed., Albert Flores (Troy, NY : Rensselaer Polytechnic Institute, 1980) pp.221-26.

[31] Mike Moore, editorial, *Bulletin cf Atomic Science*, May – June 1996.