مجلة جامعة الملك عبدالعزيز: العلوم الهندسية، م ٢٢ ع١، ص ص: ٢١٣-٢٤٢ (٢٠١١م/١٤٣٢هـ)
DOI: 10.4197 / Eng. 21-2.10

[عجالة]

أمن المواد والمنشآت النووية ونظم الحماية المادية الخاصة بها

كمال سكيكر

قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرية السورية- ص.ب ٦٠٩١ – دمشق- سورية

المستخلص. يمثل هذا العمل استعراضاً لمنهجية نمطية لتصميم نظام حماية مادية لمنشأة نووية وما تحتويه من مواد نووية، حيث تتضمن هذه المنهجية تعيين أهداف نظام الحماية، والتصميم الأولي لهذا النظام، وتطويره إذا اقتضت الحاجة. فيتم تعيين أهداف نظام الحماية المادية بجمع المعلومات الخاصة بالمنشأة المراد حمايتها وموقعها من جهة، والفعاليات التي تتم فيها (وصف شامل للمنشأة – حالات التشغيل – متطلبات الحماية) من جهة ثانية. ثم يوصف الخصم من حيث تصنيفه ومقدرته، والتكتيك الذي سوف يتبعه لتنفيذ مأربه. بعدها، يتم تحديد مواضع الأهداف المراد حمايتها وما قد تتعرض له من تهديدات. ومن الجدير بالذكر أن تحديد كون المواد أهدافاً جذابة للخصم أم لا، يعتمد بشكل رئيس على أهمية هذه المواد وسهولة أو صعوبة الحصول عليها. وبنتيجة إنجاز هذه المرحلة تتضح الرؤية لدى المصمم "ماذا يحمي وضد من يحمي" وبعبارة أخرى "التهديد المتحوط له في التصميم". أما الخطوة التالية فهي تصميم نظام الحماية، ويتم ذلك بتحديد العناصر الرئيسة (أجهزة الاستشعار الخارجية – أجهزة الاستشعار الداخلية – أجهزة الاستشعار في بوابات الدخول – أجهزة

التحقق من وجود الخصم والإنذار – وسائل الإعاقة – عناصر التصدي)، ودراسة كيفية ربط هذه العناصر بعضها ببعض بالشكل الأمثل للحصول على نظام قادر على تحقيق وظائفه المطلوبة.

الكلمات المفتاحية: الحماية المادية، المنشآت النووية، المواد النووية.

١. مقدمة

أقرّ مجلس المحافظين للوكالة الدولية للطاقة الذرية في آذار عام ٢٠٠٣م[١] خطة الوكالة المزمع العمل بها في مجال الأمن والأمان النوويين، والتي أعدت وأطلقت نتيجة لأحداث ١١ أيلول في عام ٢٠٠١م، حيث صنفت هذه الخطة المجال المعني وفق المحاور التالية:

- الحماية المادية للمواد والمرافق النووية.
- تحري النشاطات المسيئة، بما في ذلك المواد النووية والإشعاعية.
- النظم الوطنية الخاصة بإحصاء ومراقبة المواد النووية.
- الإجراءات الأمنية الخاصة بالمواد غير النووية المشعة.
- تقويم أمان تعرض المرافق النووية للخطر.
- الاستجابة للأعمال المسيئة أو التهديدات المحتملة.
- الالتزام بتطبيق الاتفاقات، والتوجهات، والتوصيات الدولية.
- إدارة استعلامات وتنسيق الأمن النووي.

ولتحقيق مضمون المحاور أنفة الذكر، أطلقت الوكالة نشاطاً جديداً بعنوان "الخدمة الاستشارية بالأمن النووي الدولي" (International Security Advisory Service ISAS). وحدّدت بنتيجة مناقشات جرت بين عدد من الأقسام والهيئات التي تقع في إطارها مناحي عمل هذا النشاط والهدف منه المتمثل بتقديم الخبرة والإرشاد للدول الأعضاء عن طريق:

- دراسة واقع حال النظم الوطنية الخاصة بالأمن النووي.
- تحليل وتقويم المعلومات المتوافرة، وتحديد الاحتياجات العامة، وتعيين أولوياتها.
- اقتراح خطة تطبيق الحلول المقترحة.

ولما كان موضوع الحماية المادية للمواد والمرافق النووية من أهم محاور خطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وحيث تعد نظم الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية عنصراً أساسياً من عناصر الأمن النووي، ونظراً لأهمية هذه المنشآت والمواد بوصفها إستراتيجية وخطرة وغالية الثمن، فإن حمايتها تعد عنصراً أساسياً من عناصر حماية الأمن القومي للدولة. فكان من المفيد أن تمثل الفقرات التالية المنهجية النمطية الواجب اتباعها عند تصميم نظم الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية.

٢. أهمية العمل وأهدافه

تكمن أهمية دوافع ومبررات هذا العمل في الحاجة إلى اعتماد إجراء معياري لضبط جودة نظام الحماية المادية لحماية المنشآت النووية من العمليات التخريبية الهادفة إلى التلوث الإشعاعي للبيئة، ولحماية المواد النووية من السرقة وضمانها. وفي الحاجة إلى تنوير الكوادر العلمية العربية العاملة في مختلف الصناعات والمراكز البحثية، وعلى الخصوص الكوادر العاملة في المراكز النووية، وتعريفهم بالجوانب المنهجية المتعلقة بتصميم وتقويم نظام الحماية المادية.

٣. طريقة العمل ومواده

أنجز هذا البحث اعتماداً على الأدبيات المرجعية التي تبحث في مفردات هذا المجال، حيث تم اتباع الخطوات التالية:

- إنشاء الخوارزمية التي تسهم في تسهيل عملية بناء المحتوى التعليمي

لمنهجية تصميم وتقويم نظم الحماية المادية.

– دراسة عناصر الخوارزمية المقترحة.

– تطوير البرنامج الحاسوبي SAVI ليكون موافقاً للشروط التشغيلية الوطنية.

٤. النتائج والمناقشة

يتألف نظام الحماية المادية الخاص بالمواد والمنشآت النووية الوطني من العناصر الرئيسة التالية [٢]:

– القوانين والتشريعات المنظمة لاستيراد وتصدير المواد النووية، وحمايتها في أثناء استعمالها وتخزينها ونقلها، والقوانين الحاكمة في الاتجار غير المشروع بها وإساءة استخدامها، والتعاون الفني الدولي في هذا المضمار. تعالج هذه القوانين والتشريعات المجالات التالية:

- اعتماد الجهات المسؤولة في هذا المجال وتعيين مهامها.
- العقوبات الجزائية المرتبطة بأنواع المخالفات المختلفة.
- الهيئات المانحة للتراخيص وأسس منحها.
- متطلبات الحماية المادية للمنشآت النووية، وأثناء استخدام وتخزين ونقل المواد النووية.
- متطلبات الحماية المادية أثناء نقل المواد النووية دولياً.
- التعاون الدولي الفني في مجال تبادل وتحليل المعلومات وتقويمها.

– منهجية المحافظة على سرية خصائص نظام الحماية المادية والوثائق ذات العلاقة.

– برامج التقييم الفني والإداري الدورية للتأكد من تلبية النظام للشروط التصميمية. يتم بوساطة هذا التقييم اختبار عمليات الاستشعار والتحقق من الخصم، والتأكد من جاهزية نظام الاتصالات وعناصر التصدي ومستوى

استجابتها.

ويهدف هذا النظام إلى:

– الحد من النقل والاتجار غير المشروع في المواد النووية واستخدامها لأغراض تخريبية.

– تأمين مستلزمات تحديد المواد النووية المفقودة، والدعم الفني لإجراءات الكشف عنها، والحد ما أمكن – بالتعاون مع سلطات الأمن – من أضرار التلوث الإشعاعي للبيئة الناجم عن العمليات التخريبية.

ولما كان مكتب التنظيم النووي في الهيئة هو الجهة المخولة لبناء عناصر هذا النظام الوطني، فسنستعرض في الفقرات التالية فقط المنهجية النمطية لتصميم وتقويم نظام حماية مادية لمنشأة نووية وما تحتويه من مواد نووية والمؤلفة من المراحل الثلاث التالية (شكل ١):

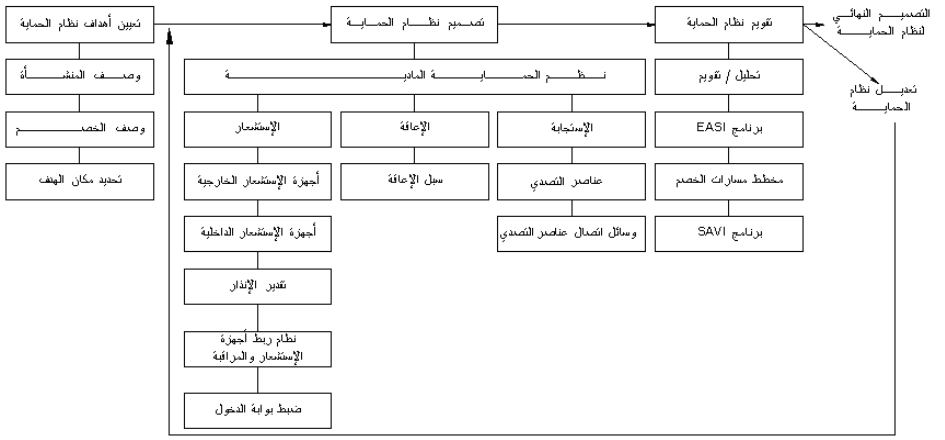
– تعيين أهداف نظام الحماية.

– تصميم نظام الحماية.

– تحليل وتقويم نظام الحماية (تطويره وإعادة تقويمه إذا اقتضت الحاجة).

٤–١ تعيين أهداف نظام الحماية المادية

يتم تعيين أهداف نظام الحماية المادية بجمع المعلومات الخاصة بالمنشأة المراد حمايتها وموقعها والفعاليات التي تتم فيها (وصف شامل للمنشأة – حالات التشغيل – متطلبات الحماية). ثم يوصف الخصم من حيث تصنيفه ومقدرته والتكتيك الذي سوف يتبعه لتنفيذ مأربه. بعدها يتم تحديد مواضع الأهداف المراد حمايتها. ومن الجدير بالذكر أن تحديد كون هذه المواد أهدافاً جذابة للخصم أم لا، يعتمد بشكل رئيس على أهمية هذه المواد وسهولة أو صعوبة الحصول عليها. وبنتيجة إنجاز هذه المرحلة تتضح الرؤية "ماذا نحمي وضد من نحمي" أو بعبارة أخرى "التهديد المتحوط في التصميم"[٣-٤].



شكل (١). منهجية دراسة وتصميم نظام الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية.

٤-١-١ توصيف المنشأة

لفهم وتقدير متطلبات الحماية المادية الواجب اعتمادها للمنشأة المدروسة، يجب إجراء الكشف الحسي للموقع ومناقشة العاملين فيه، ودراسة مخططات التصميم للمنشأة والعمليات الحاصلة فيها، إضافة إلى دراسة تقارير الأمان وبيانات الأحوال الجوية الخاصة بالمنطقة.

٤-١-٢ تحديد التهديد

يحدد التهديد لدى الإجابة على الأسئلة الثلاث التالية:

- ما هو الخصم الواجب اعتماده في الدراسة؟
- ما هو التكتيك الذي يتبعه الخصم لتنفيذ مأربه؟
- ما هي قدرات الخصم الواجب اعتماده في الدراسة؟

يصنف الخصم وفق ثلاثة أنواع وهي:

- خصم خارجي (الإرهابوين السياسوين - المخربون الانتقاميون - المناوئون للاستخدامات النووية)
- خصم داخلي (الموظفون المعادون في المنشأة - الموظفون المجبرون

على التعاون مع مخربين عن طريق تهديدهم وتهديد عائلاتهم – الأشخاص النفسانيون العاملون في المنشأة).

– خصم خارجي بالتعاون مع خصم داخلي.

وتُصنف الدوافع المحرضة للخصم للقيام بهذه العمليات المحتملة وفق ثلاث مجموعات: دوافع أيديولوجية؛ دوافع اقتصادية؛ دوافع شخصية[٥-٦].

٤-١-٣ تحديد الأهداف المراد حمايتها

يتعذر عملياً حماية كل شيء في المنشأة، فيتم تحديد الأهداف المطلوب حمايتها وفق المراحل التالية:

أ- تعيين العواقب

يتم اختيار الأهداف الواجب حمايتها انطلاقاً من العواقب المراد عدم حدوثها مثل:

– السرقة لكمية هامة من المواد الخاصة بالأسلحة النووية،

– الأعمال التخريبية التي تؤدي إلى تلوث بيئي إشعاعي،

– الأعمال التخريبية التي تؤدي إلى أعطاب صناعية.

ب – تعيين المنطقة الحيوية

تدعى أماكن الأهداف المراد حمايتها بالمناطق الحيوية، ويتم تعيين هذه المناطق وفق منهجية مؤلفة من خطوات رئيسة مبينة لمثال المنشآت النووية في شكل ٢.

٤-٢ تصميم نظام الحماية المادية

يتم تصميم نظام حماية مادية من خلال تحديد عناصره الرئيسة (أجهزة الاستشعار الخارجية – أجهزة الاستشعار الداخلية – أجهزة الاستشعار في بوابات الدخول – أجهزة التحقق من صحة وجود الخصم والإنذار – وسائل

الإعاقة – عناصر التصدي) ودراسة كيفية ربط هذه العناصر بعضها ببعض بالشكل الأمثل للحصول على نظام قادر لتحقيق الوظائف التالية[٣،٧]:

شكل (٢). خطوات تعيين المناطق الحيوية في المنشآت النووية[٣-٤].

- استشعار وجود الخصم.
- إعاقة تقدم الخصم نحو مكان توضع الهدف.
- استجابة عناصر التصدي للحيلولة دون تحقيق الخصم لهدفه.

وبهدف الحصول على نظام حماية مادية ذات وثوقية عالية، وجب تحقيق ميزات التصميم التالية:

- خط استشعار مستمر Continuous Line of Detection،
- حماية مركبة Protection in Depth،
- أجهزة استشعار خصم متكاملة Complementary Sensors،
- استجابة النظام بحسب أفضلية الحدث Priority Schemes،

- المقطع الواضح Clear Zone.
- توضح أجهزة الاستشعار بالشكل الذي يضمن تداخل الحجوم الممسوحة Sensor Configuration.
- خصوصية الشبكة Site-Specific System.
- الحماية من العبث Tamper Protection.
- الفحص الذاتي Self-Test.
- الحماية من الصواعق Lightning Protection.

٤-٢-١ أجهزة الاستشعار الخارجية

استشعار الخصم هو التنبيه لوجود محاولة اقتحام لمعبر أو لسور من قبل شخص أو عربة غير مخولين بالدخول وذلك بهدف الوصول إلى داخل منطقة محمية. تصنف أجهزة الاستشعار الخارجية وفق ما يلي:

- فعال أو منفعل.
- مغطى أو مرئي.
- خطي النظر أو موافق للتضاريس الأرضية.
- استشعار خطي أو حجمي.
- نوع التطبيق.

يوصف أداء أجهزة الاستشعار بالخواص الثلاثة التالية، والتي يعد فهمها أساساً لتصميم وتشغيل نظام استشعار ناجع وفعال:

أ- احتمال الاستشعار Probability of Detection

تقدر قيمة احتمال الاستشعار للخصم في الأجهزة المثالية بـــ $P_D=1$، أي إن هذه الأجهزة تتمتع باحتمالية تحسس قيمتها 100%. إلا أنه من المتعذر أن تتوافر الأجهزة المثالية المطلقة وتكون دائماً قيمة بـــ $P_D < 1$.

ب – معدل الإنذار الخاطئ Nuisance Alarm Rate

يعد الإنذار الصادر عن اقتحام وهمي إنذاراً خاطئاً، ويكون معدل هذه الإنذارات مساوياً للصفر في الأجهزة المثالية. وفي الحقيقة تتأثر جميع الأجهزة بالبيئة المحيطة، ومن الصعب أن تميز بين الاقتحام الحقيقي وبعض الظواهر الأخرى الواقعة في نطاق منطقة الاستشعار الخاصة بها. وحيث إنه ليس جميع الإنذارات ناشئة من وجود خصم فلا بد من وجود نظام آخر للتحقق من وجود الخصم.

ج – الحصانة ضد الإحباط Vulnerability to Defeat

ثمة طريقتان عامتان لإحباط النظام وهما:

١– العبور الجانبي لمنطقة الاستشعار.

٢– التغلب على النظام وإبطال دارة تفعيل الإنذار والعبور من منطقة الاستشعار.

٤–٢–٢ أجهزة الاستشعار الداخلية

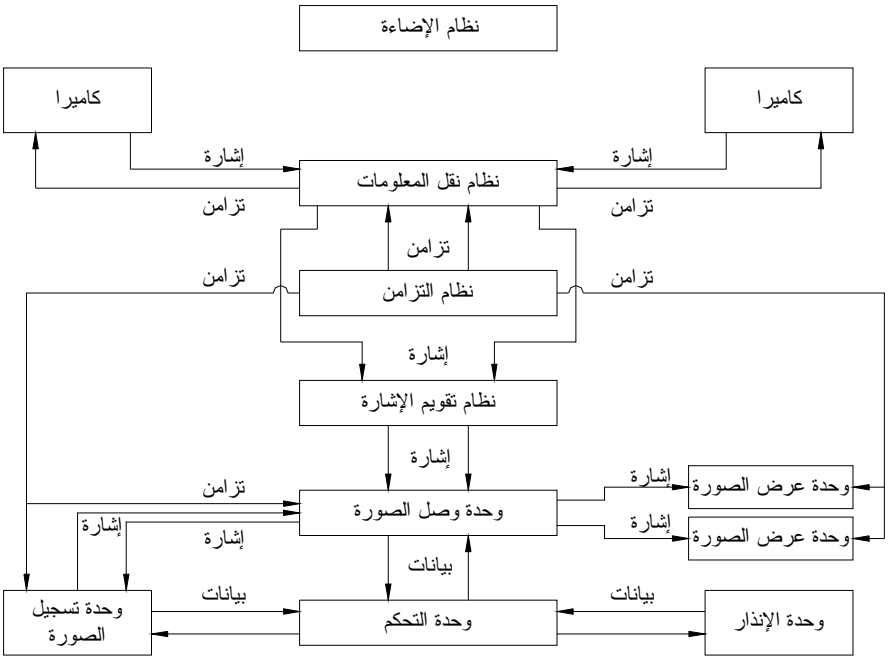
يمكن تصنيف هذه الأجهزة على غرار أجهزة الاستشعار الخارجية. ثمة العديد من الشروط المناخية التي تحدث إصدار أصوات بالشدة الطاقية نفسها التي صمم وفقها جهاز استشعار الخصم الداخلي. فتضعف هذه الأصوات المناخية أداء الجهاز وتُسبب إصدار إنذارات خاطئة. هذه الأحوال المناخية هي: البيئة الكهرومغنطيسية؛ الإشعاع النووي؛ البيئة الصوتية؛ البيئة الحرارية؛ التأثيرات الضوئية؛ التأثيرات الزلزالية؛ التأثيرات المناخية.

٤–٢–٣ أجهزة التحقق من صحة الإنذار ووجود الخصم

تستعمل أجهزة التحقق من صحة الإنذار ووجود الخصم لهدفين. الأول هو تعيين سبب الإنذار الصادر عن كل جهاز استشعار، ويتضمن ذلك التمييز فيما إذا كان هذا الإنذار ناجمًا عن وجود خصم حقيقي أو بسبب تشويش ما. والثاني هو الحصول على معلومات حول الخصم والتي تتضمن الإجابة على كل من الأسئلة: من، ماذا، أين، وكم عدد مجموعة الخصم المهاجمة. يتألف نظام ربط

أجهزة الاستشعار وأجهزة التحقق من صحة الإنذار ووجود الخصم (شكل ٣)، من الأجزاء الرئيسية التالية:

- الكاميرات والعدسات الخاصة بها
- نظام الإضاءة
- نظام نقل المعلومات
- نظام التزامن
- وحدة وصل الصورة
- وحدة تسجيل الصورة
- وحدة عرض البيانات والصورة
- وحدة التحكم



شكل (٣). الأجزاء الرئيسية لنظام ربط أجهزة الاستشعار والإنذار والتحقق[٧٠٣].

٤-٢-٣-١ الكاميرا والعدسات

الوظيفة الرئيسة لنظام الكاميرا والعدسات هي تحويل الصورة الضوئية للمشهد المادي إلى إشارة كهربائية قابلة للنقل إلى وحدة العرض في غرفة المراقبة. يُختار هذا النظام انطلاقاً من درجات الدقة المطلوبة لكل من الخواص التالية:

- الاستشعار (التحسس عند وجود هدف في المنطقة المعنية).
- التصنيف (تزويد المستثمر بالمعلومات الكافية للتعرف على الهدف: حيوان، شخص، أنقاض متطايرة).
- التعيين (دقة تمييز الهدف انطلاقاً من تفصيلات مظهره الخارجي).

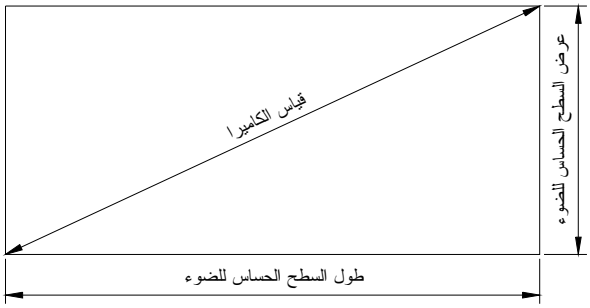
أ- اختيار الكاميرا

ثمة نوعان من الكاميرات، المصمت Solid-State والأنبوبي Tube-State. ويُستخدم بشكل عام الكاميرات من النوع المصمت في التطبيقات الخارجية، على الرغم من أن الكاميرات الأنبوبية تتمتع بدقة وحساسية أكبر، إلا أن هذا النوع الأخير يتأثر مع الزمن، وذلك خلافاً لما هو الحال في النوع الأول، إضافة إلى إمكانية تشويش الصورة بسبب وجود خيال المشهد البراق.

ويعرف قياس الكاميرا بطول قطر السطح المستطيل الحساس للضوء (شكل ٤). فالقياسات الأكثر شيوعاً للكاميرات من النوع المصمت هي 11mm و 8mm، في حين أن القياسات الشائعة للكاميرات من النوع الأنبوبي هي 16mm و 11mm. يوضح الجدول ١ أبعاد السطح الحساس للضوء في الكاميرات المصمتة والأنبوبية.

الجدول (١): أبعاد السطح الحساس للضوء في الكاميرات المصمتة والأنبوبية[٧،٣].

قياس الكاميرا mm	طول السطح الحساس للضوء mm	عرض السطح الحساس للضوء mm
8	6.2	4.6
11	8.8	6.6
16	12.7	9.5



شكل (٤). قياس الكاميرا [٣،٧].

ب – اختيار العدسات

يتم اختيار العدسة انطلاقاً من المحددات الآتية:

– القياس Format: تتوافر العدسات بقياسات نظامية مقدارها 16mm (القياس المناسب للكاميرا قياس 16mm) و 11mm. القياس النظامي الأول هو الأكثر استخداماً في تطبيقات مراقبة السور الخارجي بسبب احتواء هذه العدسات على بعد محرقي كبير وقزحية أوتوماتيكية. ويمكن استخدام العدسات بهذا القياس 16mm في الكاميرات ذات القياس 16mm و 11mm. إلا أنه من المتعذر استخدام العدسات بقياس 11mm في الكاميرات ذات القياس 16mm حيث نحصل على صورة ذات حواف عاتمة[٧].

– البعد البؤري ومجال الرؤية Focal Length and Field of View: فبوساطته يتم تعيين نسبة تكبير الهدف المسجل وتحديد مجال الرؤية الزاوي (الزاويتين الأفقية والعامودية الواقعتين في نطاق تأثير العدسة) لأي بعد للهدف. يمكن حساب زوايا مجال الرؤية الزاوي بالمعادلات الآتية:

$$H = 2\ Tan^{-1}\ (\ W_I / 2\ F\ )$$

$$V = 0.75\ H$$

حيث إن:

H زاوية مجال الرؤية الأفقية

V زاوية مجال الرؤية العامودية

W_I عرض السطح الحساس للضوء في الكاميرا مقدر بـــ mm

F البعد البؤري للعدسة مقدر بـــ mm

– معامل f: يعبر عن قياس فتحة العدسة (مقياس قابلية العدسة لجمع الإضاءة) بالمعامل f، فكلما كان هذا المعامل صغيراً، كانت كمية الإضاءة أكبر. لذلك ينصح في تطبيقات المراقبة الخارجية استعمال معامل صغير تراوح قيمته من 1 – 1.8 .

– تقدير عرض مجال الرؤية وطول بعده عن الكاميرا Distance and Width Approximation: يمكن في حال استخدام عدسات نظامية ذات أبعاد بؤرية 25mm، 50mm، 70mm،...، تعيين عرض مجال الرؤية على بعد معين من الكاميرا، أو تعيين طول المسافة إلى الكاميرا عند عرض معين لمجال الرؤية (شكل ٥)، وذلك بتطبيق المعادلة الآتية:

$$D = 2\ W\ F/\ 25$$

حيث إن:

D طول المسافة إلى الكاميرا عند عرض معين لمجال الرؤية مقدرة بـــ m

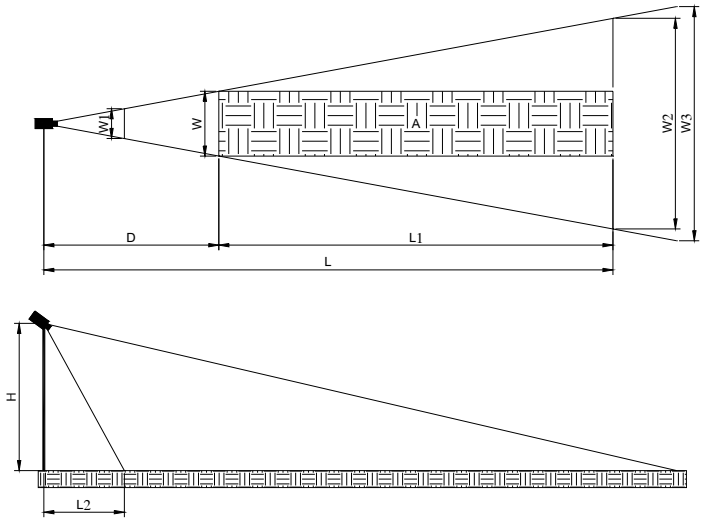
F البعد البؤري للعدسة مقدر بـــ mm

W عرض مجال الرؤية مقدر بـــ m

تطبق هذه العلاقة عند استخدام كاميرا بقياس 16mm. وفي حال استخدام كاميرا بقياس 11mm أو 8mm مع عدسات بقياس 16mm فيجب ضرب البعد البؤري F بالمعامل 1.5أو 2 على التوالي. ويمكن أيضاً تعيين الطول الأعظمي للمنطقة الممسوحة بوساطة مجموعة الكاميرا والعدسات المستخدمة.

إذا أمعنا النظر في الشكل ٥ الذي يبين مجال وزوايا الرؤية للكاميرا، يمكن الخلوص إلى أن عرض منطقة الرؤية الواقعة أسفل الكاميرا W1 لا يساوي

عرض المنطقة الممسوحة W. وأن عرض مجال الرؤية الأعظمي W3 ليس مساوياً لعرض مجال الرؤية عند الدقة المطلوبة W2. كما يلاحظ وجود مسافة ميتة L2 لا يمكن رؤيتها، واقعة بين مكان توضع الكاميرا وبداية منطقة الرؤية أسفلها. وعلى هذا يحسب الطول الأعظمي للمنطقة الممسوحة L1 انطلاقاً من عرضها W وشروط الدقة المطلوبة في نهايتها. فيكون L1 مساوياً إلى الفرق بين بعد عرض مجال الرؤية وفق شروط الدقة المطلوبة من مكان توضع الكاميرا L وبعد بداية المنطقة الممسوحة عن الكاميرا D.



A: المنطقة الممسوحة،D: بعد بداية المنطقة الممسوحة عن الكاميرا، L1: الطول الأعظمي للمنطقة الممسوحة، L2: المنطقة الميتة، W: عرض مجال الرؤية، W1: العرض الأدنى لمجال الرؤية،W2 عرض مجال الرؤية عند الدقة المطلوبة، W3: عرض مجال الرؤية الأعظمي، H: ارتفاع الكاميرا عند سطح الأرض، L: بعد عرض مجال الرؤية وفق شروط الدقة المطلوبة من موضع الكاميرا.

شكل (٥). مجال وزوايا الرؤية للكاميرا [٧].

٤-٢-٣-٢ نظام الإضاءة

لكي تكون المنطقة المراد حمايتها مرئية من قبل الكاميرا، يجب أن تكون هذه المنطقة مضاءة إضاءة طبيعية أو صنعيه، بحيث تعكس كمية معينة من

الأشعة الضوئية إلى عدسات الكاميرا. فالمحددتين الأهم لنظام الإضاءة الخاص بنظام المراقبة ذي الدارة التلفزيونية المغلقة هما الحد الأدنى لشدة الإضاءة وانتظامها.

ينصح بأن يكون الحد الأدنى لهذه الشدة 15 لوكس عند استخدام نظام كاميرا من النوع المصمت ذات عدسة بمعامل f = 1.8 أو أسرع، آخذين بعين الحسبان بأن معامل الانعكاس لسطح الأرض هو 25%.

أما انتظام شدة الإضاءة فلا يقل أهمية عن الحد الأدنى لقيمتها. وتعرف هذه المحددة بالنسبة بين الحد الأعلى والحد الأدنى لشدة الإضاءة، وينصح بأن لا تزيد قيمتها عن 6/1 وأن تكون 4/1.

يجب تركيب مصابيح الإضاءة فوق مستوى تركيب الكاميرات، وذلك لتجنيب هذه المنابع البراقة من التشويش على مجال الرؤية للأخيرة.

٤-٢-٣-٣ نظام نقل البيانات

يقوم نظام نقل البيانات بنقل إشارة الصورة من الكاميرات إلى وحدة عرض الصورة بالطريقة التي تضمن خلوها من التشويش. ويمكن نقل إشارة الصورة هذه بوسائط متعددة وهي:

- الكبل المحوري Coax Cable.
- الكبل الضوئي Fiber Optics.
- نظام الموجة الميكروية Microwave Links.
- نظام ضوئي بالأشعة تحت الحمراء Infrared Optical Systems.

٤-٢-٣-٤ نظام تقويم الإشارة

يقوم نظام التقويم بتعديل إشارة الصورة وفصل إشارات التشويش الملتقطة أثناء نقلها بوساطة الكوابل. ويتم اختيار هذا النظام على أساس نسبة التعديل

اللازمة لها وشدة التشويش الحاصلة فيها، ويتضمن الوحدة المعدلة للإشارة Video Equalizer، والوحدة اللاقطة لإشارات التشويش Hum Clamper. ولا يوجد ضرورة لوجود كل من هاتين الوحدتين عند استعمال كوابل النقل الضوئية.

٤-٢-٣-٥ نظام التزامن

للحصول على صورة نقية في الوقت المناسب وفي كل من وحدتي العرض والتسجيل يستخدم نظام تزامن عام. ترسل بوساطة هذا النظام نبضات تزامن، لتقوم بالتحكم في دوائر التوقيت الداخلية للكاميرات، وليصار إلى وصول الإشارات الضوئية إلى وحدة العرض تباعاً بشكل دقيق وبالطور المحدد، بغض النظر عن طول سلك النقل المستخدم. ويرسل أيضاً نبضات تزامن إلى كل من وحدتي التسجيل ووصل الصورة.

٤-٢-٣-٦ وحدة وصل الصورة

تتضمن معظم النظم الخارجية الخاصة بالإنذار والتحقق من وجود الخصم عدداً من الكاميرات يزيد على عدد وحدات عرض الصورة. لهذا فمن الضروري استخدام وحدة لوصل الإشارات الضوئية المتدفقة من مجموعة الكاميرات إلى واحدة أو أكثر من وحدات العرض والتسجيل.

يوصل نظام الإنذار مع وحدة وصل الصورة، لتقوم هذه الأخيرة بشكل أوتوماتيكي بوصل الكاميرا ذات العلاقة مع وحدة العرض.

٤-٢-٣-٧ وحدة التسجيل

يستخدم، في نظام المراقبة التلفزيونية، وحدات تسجيل من النوع القرصي أو شريط الفيديو لتسجيل البيانات الصورية للحدث. تُعد هذه الوحدات بسيطة التصميم ورخيصة الثمن وسهلة التشغيل والإصلاح وتتمتع بوثوقية عالية.

٤-٢-٣-٨ وحدة عرض الصورة

تقوم وحدة عرض الصورة بتحويل الإشارة الكهربائية المتدفقة من الكاميرا إلى صورة مرئية على شاشة إظهار خاصة. وللحصول على صورة واضحة يجب أن يكون عرض النطاق الترددي لوحدة العرض مساوياً على الأقل لعرض النطاق الترددي الخاص بالكاميرات المستخدمة في نظام التحقق.

٤-٢-٣-٩ وحدة التحكم

تقوم وحدة التحكم بتأمين الترابط بين نظامي الإنذار والتحقق من وجود الخصم. يتم بوساطتها التحكم الآلي لوصل مداخل وحدة الوصل مع مخارجها، وتفعيل وحدة التسجيل وعرض مشاهد الأحداث على وحدة العرض. تتألف هذه الوحدة من معالج أو حاسب أو أي وحدة منطقية قادرة على مناغمة عناصر نظام الحماية جميعها.

٤-٢-٤ نظام مراقبة الدخول

يقوم نظام مراقبة بوابات الدخول بالسماح للعناصر المخولة والمواد المسموحة بعبور البوابة المعنية، وإعاقة عبور الأشخاص غير المخولة والمواد المحظورة والبينة لذلك. فيقوم بإصدار الإنذار المناسب عند عدم تعريف الشخص الداخل لنفسه بالشكل الصحيح، أو في حال استشعار المواد المحظورة، ليصار إلى تقييم الحدث من قبل عناصر التصدي وتحديد فيما إذا كان الإنذار صحيحاً أم خاطئاً. ويُستخدم هذا النظام في بوابات العبور للمناطق المحمية وللمناطق الحيوية أو لمناطق دخول المواد (الشكل ٦).

٤-٢-٤-١ مراقبة دخول الأشخاص

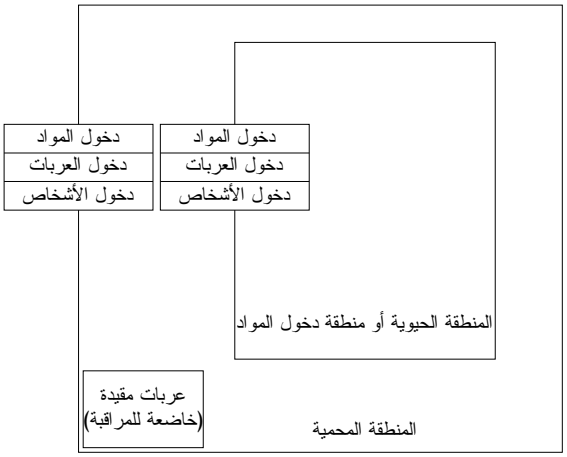
يقوم نظام مراقبة دخول الأشخاص في بوابات الدخول بالتأكد من أن الشخص الداخل يحمل بطاقة تعريف صالحة، ويُدخل رقم التعريف الخاص الصحيح، ويتمتع بالميزة الفيزيائية الوحيدة الخاصة بشخصيته والمسجلة في

ملفات النظام، كبصمة الإبهام مثلاً. يستخدم لهذا الغرض التقانات التالية:

أ- رقم التعريف الخاص Personal Identification Number

ب – الوثائق المعتمدة Credentials

ج – التحقق من صحة الشخصية Personal Identity Verification



شكل (٦). مناطق استخدام نظام مراقبة بوابات الدخول.

٤-٢-٤-٢ كشف المواد المحظورة

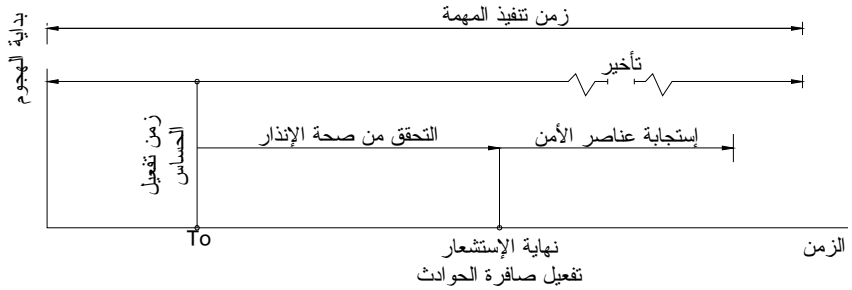
تُعد الأسلحة والأدوات غير المرخصة والمواد المدرعة والمتفجرات مواد محظورة يجب التأكد من عدم حيازتها لدى جميع الأشخاص، وعدم وجودها في جميع العربات قبل السماح لهم بالدخول إلى المنشأة. ويمكن مراقبة إدخال هذه المحظورات بالطرائق التالية:

- كاشفات المعادن Metal Detectors
- فحص الحقائب Package Search
- كواشف المتفجرات Explosive Detectors
- كواشف المواد النووية Nuclear Materials Detectors

٤-٢-٥ وسائل إعاقة تقدم الخصم

تهدف وسائل الإعاقة إلى زيادة زمن تنفيذ مهمة الخصم بعد أن يتم الاستشعار به، وتركب هذه الوسائل على طول المسارات التي يمكن أن يتبعها، وذلك لإعطاء الوقت اللازم لعناصر قوى التصدي كي تصل إلى المكان المعني.

يوضح شكل ٧ مراحل عمل نظام الحماية المادية وموقع وسائل الإعاقة فيه. يرمز للزمن اللازم كي يتمكن الخصم من تنفيذ مأربه بـــ زمن تنفيذ المهمة Adversary Task Time . ففي نقطة ما من مسار الهجوم الذي يتبعه الخصم يجب الكشف عنه. ويرمز للزمن في هذه النقطة بـــ To. وبعد أن يفعل الحساس في هذا الزمن To، يلزم بعض الوقت (بضع ثوان إلى بضع دقائق) للتأكد من صحة الإنذار والتعرف على طبيعة الخصم. فإذا كان الإنذار صحيحاً وإيجابياً يصار إلى تفعيل صفارة الحوادث العامة. ويلزم بعدها بعض الوقت ليتمكن رجال الأمن من الوصول إلى المكان المعنى وتطويق هجوم الخصم. أما وسائل إعاقة تقدم الخصم المستعملة فهي:



شكل (٧). مراحل عمل نظام الحماية المادية وموقع وسائل الإعاقة فيه[٧،٣].

أ- الحواجز المنفعلة Passive Barriers

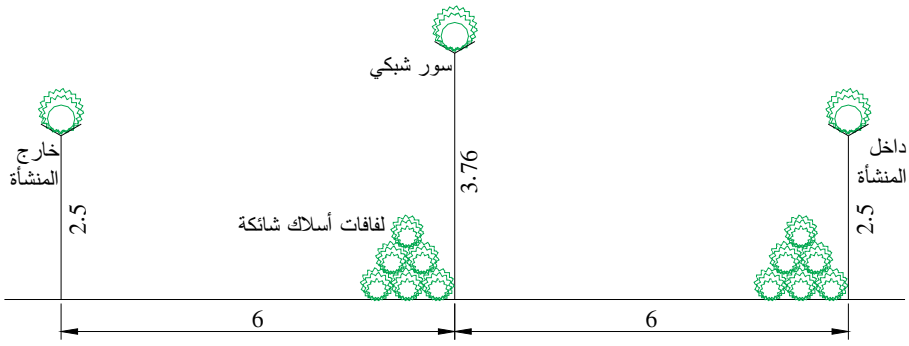
للتحقق من صحة وجود الخصم وحصره في منطقة الاستشعار، يجب تركيب الحواجز بالقرب من نظام الاستشعار، بحيث تكون هذه الحواجز مركبة مباشرة بعد أجهزة التحسس. وباستخدام هذا الترتيب يمكن إعاقة الخصم عند

نقطة الكشف كما يمكن زيادة احتمال منعه من تنفيذ مأربه عن طريق عناصر قوى التصدي. يستخدم لهذا الغرض الحواجز التالية:

ب- الحواجز من نوع السور الخارجي Perimeter Barriers

تشكل الحواجز الخاصة بالمحيط الخارجي للمنشأة خندق الحماية الأول في نظام الحماية المادية، وتتضمن السور الخارجي Fences وبوابات دخول الأشخاص والعربات Gates.

وبهدف زيادة وثوقية السور الخارجي تركب لفافات الأسلاك الشائكة بجواره على الأرض وفق أنساق متوازية، أو على السور نفسه من مستوى الأرض إلى أعلاه. توضع هذه اللفافات عادة، في الجهة الداخلية للسور الخارجي، وفي الجهة الخارجية للسور الداخلي وتثبت جيداً في الأرض عند وضعها بشكل أفقي، كما يحظر إنبات المزروعات في مكان توضعها وتراكم بقايا القمامة والنفايات عليها. يوضح شكل ٨ مثالاً لنظام سور ثلاثي خارجي.



شكل (٨). نظام السور الثلاثي.

أما بوابات الدخول فتعد نقطة العبور إلى المنطقة المحددة بسور أو بجدار والخروج منها، وتهدف إلى تنظيم ومراقبة دخول وخروج الأفراد والعربات. ويمكن تخفيض احتمال اختراق العربات لهذه النقاط عن طريق تحديد مسار فتح وإغلاق البوابة والمسلك الواجب إتباعه من قبل المركبة، لأن تعدد المسارات

على جانبي مدخل المنشأة، وإلزام المركبة بإتباع إحداها يقلل من سرعة وصول المركبة وانطلاقها.

ج- الحواجز الإنشائية

تعد الجدران والأرضيات والأسقف والأبواب والنوافذ والمنافذ التخديمية حواجز إنشائية محددة للمنطقة المحمية، والتي يمكن اختراقها بسهولة من قبل مجموعة الخصم المدربة تدريباً جيداً. فباستطاعة مجموعة الخصم أن تفتح ثقباً في جدار بيتوني بسماكة 46 cm في مدة خمس دقائق باستعمال المواد المتفجرة وأدوات القطع المناسبة، حيث إن معظم الزمن المستغرق في فتح هذا الثقب يخصص لقطع قضبان الحديد ذات الأقطار 19 mm فما فوق. أما الأبواب المقفلة والمخصصة لدخول الأفراد، والنوافذ والدكتات التخديمية فيمكن فتحها أو اختراقها خلال فترة زمنية تتراوح من بضع ثوان إلى بضع عشرات الثوان. ويمكن إعاقة مجموعة الخصم عن طريق تركيب شبكات معدنية لهذه المسارات التي تعد سهلة لدخولها وخروجها.

د - الحواجز الكيميائية القابلة للانحلال

يمكن بوساطة الحواجز الكيميائية القابلة للانحلال إعاقة وتأخير مجموعة الخصم لمدة زمنية محددة، وبعدها سوف تتمكن من التغلب على آلية الإعاقة وتتابع اختراقها. يستخدم لهذا الغرض المواد المعيقة الآتية:

- رغوة البولي يوريثان الصلب Rigid Polyurethane Foam.
- رغوة مائية مستقرة Stabilized Aqueous Foam.
- دخان كيميائي Chemical Smoke.
- رغوة اللدائن الحرارية اللاصقة Sticky Thermoplastic Foam.

٤-٢-٦ قوى التصدي

يختلف مفهوم اصطلاح قوى التصدي من بلد إلى آخر ومن مؤسسة إلى أخرى في البلد نفسه. فتحت هذا العنوان تندرج عناصر أمن المنشأة، وعناصر شرطة المنطقة، وعناصر الشرطة الوطنية، وعناصر قوى الجيش ومجموعات قوى الأمن المدربة. تتخذ عناصر قوى الأمن موقعاً لها في داخل المنشأة أو خارجها ويعهد إليها الحيلولة دون تحقيق مجموعة الخصم مأربها وذلك بإيقاف هجومها Interruption وإخماده Neutralization.

٤-٢-٦-١ إيقاف هجوم مجموعة الخصم

يعرف إيقاف هجوم مجموعة الخصم بوصول قوى التصدي إلى المكان ذات العلاقة في الوقت المناسب للحيلولة دون تنفيذها لمأربها. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق تأمين الاتصال الدقيق والسريع بمجموعة قوى التصدي وانتشارها الفعال في المنطقة المعنية.

أ- الاتصال بقوى التصدي

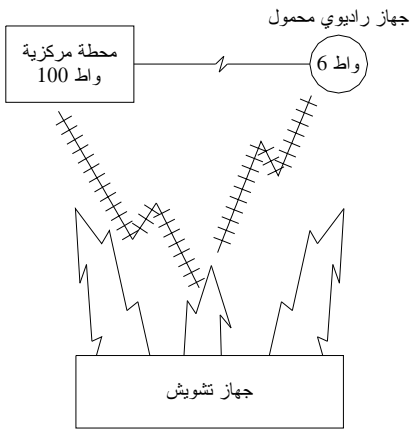
يستخدم لهذا الغرض إضافة إلى الخطوط الهاتفية الأجهزة الراديوية ذات الاستطاعات الصغيرة والتعديل الترددي الضيق النطاق FM، والصوت الواضح، والتي تعمل بوساطة البطارية. وتعاني هذه النظم من قصورين عامين. الأول هو مجال الاتصال غير الكافي، والثاني هو النقاط الميتة في التغطية الاتصالية داخل الأبنية الكبيرة.

عند استخدام الأجهزة الراديوية يؤخذ بالحسبان مقاومتها للتشويش المسلط عليها، أي التقاطها لإشارات غير مرغوبة، والتي تقوم بدورها بحجب الإشارات الحقيقية (المكالمة). يتوجب على الشخص المسئول عن نظام الاتصال أن يكون ملماً بهندسة التشويش المبينة في الشكلين ٩ و ١٠. وإذا أمعنا النظر في الشكل

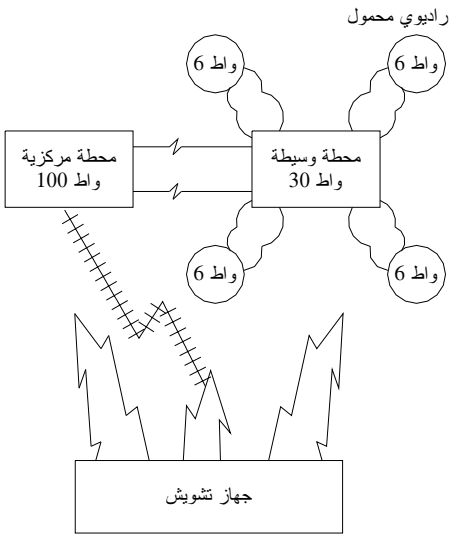
٩ يمكن الخلوص إلى أنه يبقى الذي يقوم بتشغيل المحطة المركزية عند تفعيل أجهزة التشويش على اتصال باتجاه واحد مع معظم الأجهزة الراديوية المحمولة، وأنه من المتعذر استقبال مكالماتهم. لذلك يجب عليه أن يفترض بأن رسائله يتم استقبالها من قبل جميع عناصر التصدي، ويستمر بإرسال المعلومات المتوافرة لديه. بعبارة أخرى، يمكن فقد الاتصال الراديوي من جهاز راديوي محمول باستطاعة صغيرة (٨-٦ وات) إلى محطة مركزية أخرى (١٠٠ وات)، والعكس صحيح، ويبقى الاتصال سارياً من المحطة المركزية إلى الأجهزة الراديوية المحمولة. أما الشكل ١٠، فيوضح هندسة أخرى يمكن اتباعها، وهي ربط المحطة المركزية بعربة نقل وسيطة متوسطة الاستطاعة (٣٠ وات)، ليصار بوساطتها إلى ترحيل المكالمات من وإلى الوحدات الراديوية المحمولة.

ينصح بأن يتضمن نظام الاتصال بعض وسائط الاتصال البديلة التي يمكن بوساطتها نقل المكالمات في حال فقدان الاتصال الراديوي بسبب التشويش وهي:

- شبكة هاتفية Telephones.
- شبكة تخاطب داخلية Intercoms.
- محطات الكومبيوتر Computer Terminals.
- الإشارات اليدوية Hand Signals.
- شبكة الإشارات الضوئية Flares.
- شبكة صفارات الإنذار Sirens.
- المراسلون Couriers.
- الدخان Smoke.
- الصفارات Whistles.
- شبكة الإنذار الخاصة بأسر أحد عناصر الأمن Duress Alarms.



شكل (٩). اتصال باتجاه واحد أثناء التشويش.



شكل (١٠). محطة وسيطة لترحيل المكالمات من وإلى الوحدات الراديوية المحمولة أثناء التشويش.

ب – انتشار قوى التصدي

بهدف ضمان قدرة قوى التصدي للسيطرة على مجموعة الخصم ومنعها من تنفيذ مأربها، يجب إعداد برنامج لها يتضمن التخطيط والتدريب والممارسة لعمليات الانتشار المحتملة.

٤-٢-٦-٢ إخماد هجوم مجموعة الخصم

يعرف إخماد هجوم مجموعة الخصم بإيقافها والسيطرة عليها قبل تنفيذها للمهمة الموكلة إليها. ولتحقيق ذلك يجب أن يكون عدد عناصر مجموعة الأمن كاف وكل منهم مزود بالأسلحة والمعدات الموافقة لطبيعة مجموعة الخصم المهاجم. كما يجب أن تكون هذه العناصر مدربة تدريباً جيداً، وبحالة فيزيائية لائقة، وتتمتع بالمهارة والسرعة لتتمكن من الوصول إلى المكان المطلوب في الوقت المناسب بعد أن يتم إعلامها بالحدث.

٤-٣ تحليل وتقويم تصميم نظام الحماية المادية

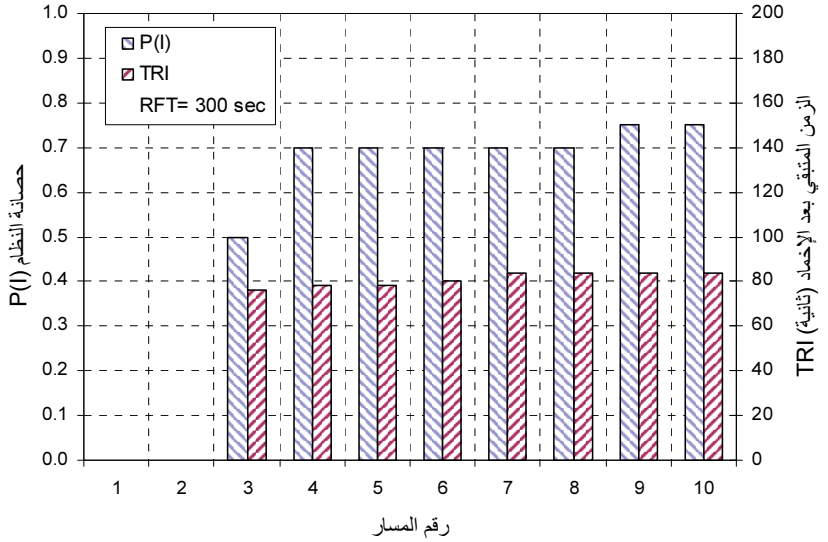
للتأكد من تحقيق التصميم الأولي لنظام الحماية لأهدافه المحددة يجب تحليله وتقويمه[٣،٨،٩]. ويتم ذلك بحساب قيمة الحصانة Vulnerability Assessment لجميع المسارات المحتملة التي يمكن أن يسلكها الخصم بدءاً من المحيط الخارجي للمنشأة إلى مكان توضع الهدف الذي يبغي إليه "Adversary Sequence Diagram" ASD[١٠]. فإذا كانت قيمة الحصانة بنتيجة الحساب في المجال المسموح به أعتبر التصميم مقبولاً، وإلا وجب إعادة النظر وتصحيح بنية المسارات الضعيفة، ومن ثم إعادة التحليل والتقويم.

لتحليل وتقويم نظام الحماية، ونظراً لصعوبة وتعقيد تصميمه، نستعمل البرنامج الحاسوبي SAVI (System Analysis of Vulnerability to Intrusion) الذي يقوم بحساب مقدار الحصانة لجميع مسارات الخصم المحتملة، ويبين نتائج الحساب بشكليها العددي والبياني للعشرة مسارات الأضعف[١١] . وتتضمن النتائج البيانية للتحليل على ما يلي:

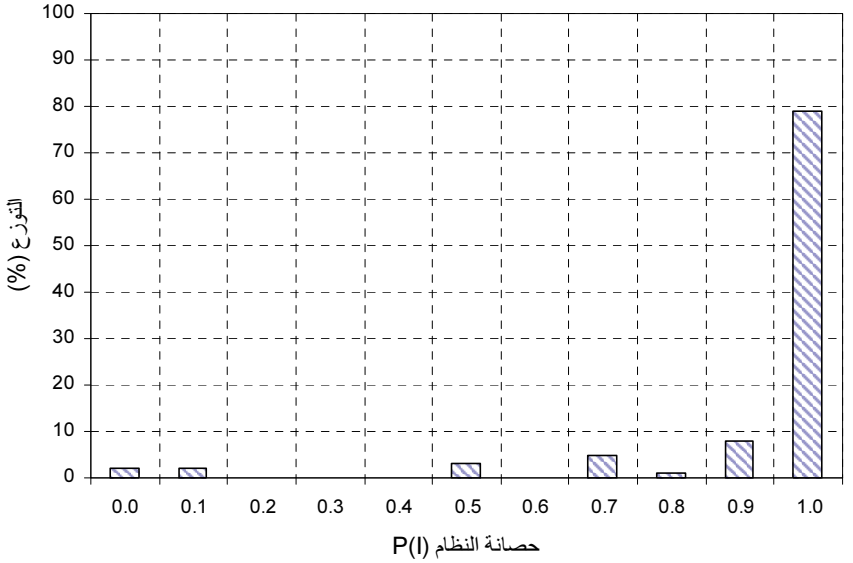
- حصانة النظام للمسارات العشرة الأضعف P(I) (Probability of Interruption) والزمن المتبقي اللازم لتنفيذ الخصم مأربه حين وصول عناصر التصدي إلى منطقة الهدف TRI "Time Remain After Interruption" (شكل ١١).

- توزع قيمة حصانة النظام P(I) بحسب منحني غاوس "Gauss" (شكل ١٢).

كما يمكن أيضاً استعمال البرنامج الحاسوبي "Estimate of Adversary Sequence Interruption EASI" الذي يقوم بحساب مقدار الحصانة لمسار فردي محتمل للخصم المحتملة[١٢].



شكل (١١). حصانة النظام والزمن المتبقي بعد السيطرة على الخصم للعشرة المسارات الأضعف لمبنى مفاعل بحث افتراضي.



شكل (١٢). توزع حصانة النظام وفق زمن استجابة محدد لمبنى مفاعل بحث افتراضي.

٥. الاستنتاجات والتوصيات

تضمن هذا العمل استعراضاً لمنهجية نمطية لتصميم نظام حماية مادية لمنشأة نووية وما تحتويه من مواد نووية. تتضمن منهجية تصميم نظام حماية مادية لمنشأة نووية تعيين أهداف نظام الحماية، والتصميم الأولي لهذا النظام وتطويره إذا اقتضت الحاجة. حيث يتم تعيين أهداف نظام الحماية المادية بجمع المعلومات الخاصة بالمنشأة المراد حمايتها وموقعها والفعاليات التي تتم فيها (وصف شامل للمنشأة – حالات التشغيل – متطلبات الحماية). ثم يوصف الخصم من حيث تصنيفه ومقدرته، والتكتيك الذي سوف يتبعه لتنفيذ مأربه. بعدها يتم تحديد مواضع الأهداف المراد حمايتها. ونتيجة إنجاز هذه المرحلة تتضح الرؤية لدى المصمم "ماذا يحمي وضد من يحمي" وبعبارة أخرى "التهديد المتحوط له في التصميم". أما الخطوة التالية فهي تصميم نظام الحماية، ويتم ذلك بتحديد عناصره الرئيسة (أجهزة الاستشعار الخارجية – أجهزة الاستشعار الداخلية – أجهزة الاستشعار في بوابات الدخول – أجهزة التحقق من وجود الخصم والإنذار – وسائل الإعاقة – قوى التصدي) ودراسة كيفية ربط هذه العناصر بعضها ببعض بالشكل الأمثل للحصول على نظام قادر على تحقيق وظائفه المطلوبة. كما تضمنت هذه المنهجية التأكد من تحقيق التصميم الأولي لنظام الحماية لأهدافه المحددة عن طريق تحليله وتقويمه. ويتم ذلك بحساب قيمة الحصانة لجميع المسارات المحتملة التي يمكن أن يسلكها الخصم بدءاً من المحيط الخارجي للمنشأة إلى مكان توضع الهدف الذي يبغي إليه وذلك بمعرفة برامج الحاسوب المخصصة لهذا الغرض.

نقترح اعتماد هذه المنهجية كإجراء معياري لضبط جودة نظام الحماية المادية لحماية المنشآت النووية من العمليات التخريبية الهادفة إلى التلوث الإشعاعي للبيئة، ولحماية المواد النووية من السرقة وضمانها.

شـــكر وتقدير

الشكر الجزيل للسيد المدير العام الدكتور إبراهيم عثمان، لعنايته وتشجيعه لهذا العمل.

المراجع

[١] **IAEA**, *Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources,* INFCIRC/ 663, Vienna, Austria (2005).

[٢] **IAEA**, *The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities*, INFCIRC/ 225/ Rev. 4, Vienna, Austria (1999).

[٣] **Mary, G.** , *Design and Evaluation of Physical Protection Systems*, 2nd Edition, Butterworth Heinemann, Newton, USA (2007).

[٤] **DOE**, *Determining physical protection System Objectives*, New Mexico, USA (1993).

[٥] **DOE**, *Supporting Information*, New Mexico, USA (1993).

[٦] **TDOE**, *Terrorist Group Profiles*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., USA (1993).

[٧] **DOE** , *Designing a Physical Protection System*, New Mexico, USA, 1993.

[٨] **ISMAIL**, **B.**, *Physical Protection and Control of Radioisotope Sources in Industry*, internal report, Atomic Energy Authority, Cairo, Egypt (1995).

[٩] **DOE**, *Evaluating the Physical Protection System Design*, New Mexico, USA (1993).

[١٠] **IAEA**, *The Physical Protection of Nuclear Material*, INFCIRC 225, Rev.1 Vienna, Austria (1973).

[١١] **Science & Engineering Associates**, *Systematic Analysis of Vulnerability to Intrusion: Physical Protection System Analysis Software*, Version 3.3, New Mexico, USA (1993).

[١٢] **Science & Engineering Associates**, *Estimate of Adversary Sequence Interruption: Physical Protection System Analysis Software*, Version 3.3, New Mexico, USA (1993).

The Security and Physical Protection Systems for Nuclear Facilities and Materials

Kamal Skeiker

Scientific Services Department, Atomic Energy Commission
P.O. Box 6091, Damascus, Syria

Abstract. This work presents a systematic methodology for physical protection system design of nuclear facility and its nuclear material inventory. The design of an effective physical protection system includes the determination of the physical protection system objectives, the initial design of a physical protection system, and, probably, a redesign or refinement of the system. To develop the objectives, the designer must begin by gathering information about facility operations and conditions, such as comprehensive description of the facility, operating states, and the physical protection requirements. The designer then needs to define the threat. This involves considering factors about potential adversaries: class of adversary, adversary's capabilities, and range of adversary's tactics. Next, the designer should identify targets. Determination of whether or not nuclear materials are attractive targets is based mainly on the case or difficulty of acquisition and desirability of the material. The designer now knows the objectives of the physical protection system, that is, "what to protect against whom" or on other word "Design Basis Threat (DBT)". The next step is to design the system by determining how best to combine such elements as fences, vaults, sensors procedures, communication devices, and response force personnel to meet the objectives of the system.

Keywords: Physical protection, Nuclear facilities, Nuclear materials.