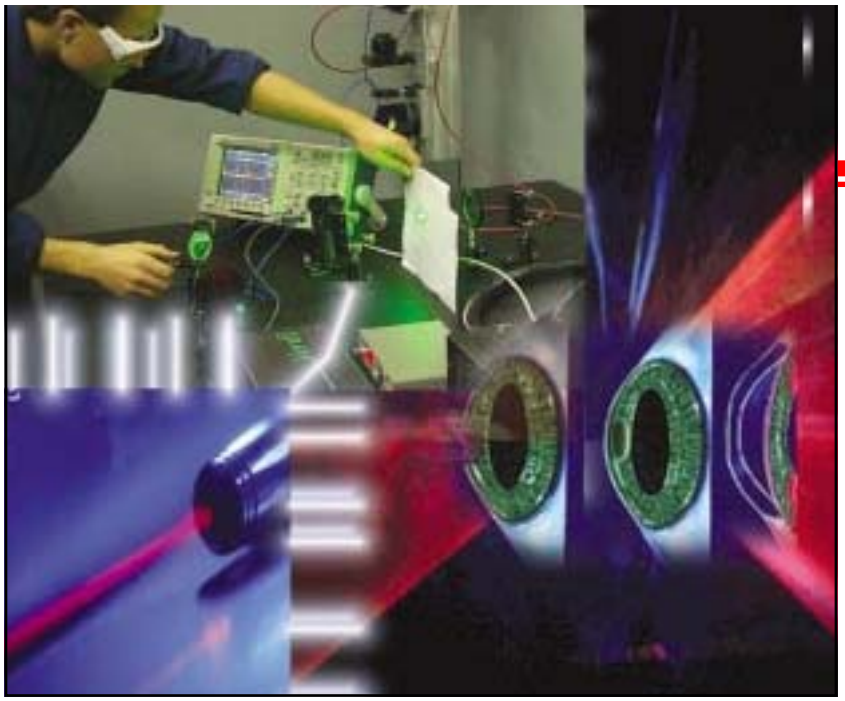


مخاطر أشعة الليزر

أ.د. محمد فاروق أحمد

منذ اكتشاف أشعة الليزر في منتصف القرن العشرين والعلماء يسعون دون هوادة للاستفادة من مزاياها في كافة المجالات. وخلال العقود الثلاثة الأخيرة من نفس القرن وجدت حزم أشعة الليزر تطبيقات مفيدة ومتشعبة في مجالات الطب والجراحة وطب العيون والصناعة والتحكم الآلي والاتصالات والكيمياء وغيرها من المجالات المدنية والعسكرية.

ورغم المنافع المتعددة لحزم أشعة الليزر في المجالات التطبيقية المتنوعة إلا أنها تشكل بعض المخاطر على متداولي الأجهزة التي تصدرها عند عدم الالتزام بمعايير التداول والاستخدام الآمن لهذه الأجهزة ، خاصة عندما تتجاوز قدراتها حدوداً معينة .

وفي الوقت الحالي يتم إنتاج أنواع مختلفة من أجهزة انبعاث الحزم الليزرية يعمل بعضها بنظام الحزم المستمرة (أي المتواصلة) ، ويعمل البعض الآخر بنظام النبضات الليزرية المتقطعة. كذلك تتوفر أجهزة تغطي ثلاث شرائح مختلفة من شرائح الموجات الكهرومغناطيسية. فهناك أجهزة تصدر حزماً بخطوط طيفية تقع ضمن شريحة الضوء المرئي وأخرى تصدر حزماً بخطوط تقع ضمن شريحة الموجات الحرارية (أي الأشعة تحت الحمراء) وثالثة تصدر حزم ليزر عالية الطاقة نسبياً بخطوط طيفية تقع في نطاق شريحة الأشعة فوق البنفسجية. وقد وجدت جميع هذه الحزم تطبيقات واسعة في شتى المجالات.

ولن يتعرض هذا المقال للتطبيقات المتعددة والمفيدة لحزم أشعة الليزر حيث أفرد لها مقال منفصل ، وإنما سَيُكْتَفَى هنا بتناول أهم التأثيرات البيولوجية الضارة لهذه الحزم عند تعرض الأنسجة البشرية لها، كما سيناقش المقال مدى الحاجة لاستصدار تعليمات وطنية تنظم عمليات تداول واستخدام أجهزة الليزر استخداماً آمناً للاستفادة القصوى من مزاياها ومنافعها مع الحرص على الوقاية من المخاطر والأضرار المترتبة على الاستخدام غير الآمن عند حدوده الدنيا.

خصائص أشعة الليزر

تتكون كلمة ليزر (Laser) من الحروف الأولى لخمس كلمات انجليزية تعني «تضخيم الضوء بالانبعاث المستحث بالاشعاع» . وتعود التطبيقات لحزم أشعة الليزر لعدد من الخصائص الفيزيائية لهذه الحزم، وهي:

- **حزمة وحيدة اللون**

تعني هذه الخاصية لأشعة الليزر أن جميع الموجات الكهرمغناطيسية (المسماة بالفوتونات) المنطلقة ضمن الحزمة تتخذ نفس الطول الموجي (أي نفس التردد)، وبالتالي فإن كل موجة في الحزمة تحمل نفس مقدار الطاقة الكهرمغناطيسية.

- **وحدة الطور**

يكون لجميع موجات حزمة الليزر في الموضع المحدد على خط انتشارها نفس الطور، كما أن طور جميع الموجات في الحزمة يتغير بنفس الأسلوب والمقدار مع انتقالها على المستقيم الذي تنتشر عبره. وبلغة أبسط فإن هذا يعني أن جميع موجات الحزمة تصل إلى السعة القصوى للمركبة الكهربائية أو المغناطيسية في نفس اللحظة وعند نفس النقطة من خط الانتشار، ثم تتناقص السعة بنفس الأسلوب والمعدل إلى أن تصبح مساوية للصفر في نفس اللحظة والنقطة لجميع موجات الحزمة، وتستمر في التناقص إلى أن تصل السعة إلى أقصى قيمة سالبة في نفس اللحظة وعند نقطة محددة من المسار، ثم تعود جميع موجات الحزمة في التزايد من حيث السعة إلى أن تصل من جديد للسعة القصوى في نفس الوقت والموضع الجديد. ويترتب على هذا التطاور (أو وحدة الطور) في الموجات المختلفة التي تتكون منها حزمة الليزر تمتع هذه الحزمة بخاصيتين هامتين دعمتا استخدامها في شتى المجالات التطبيقية وهما:

١- زاوية تفرق (تشتت) محدودة للغاية لحزمة أشعة الليزر تكاد تقترب من الصفر لمعظم الأجهزة المصدرة لهذه الاشعة ، بحيث يمكن القول أن جميع موجات الحزمة تنطلق من مصدرها متوازية تماماً وتكون مساحة المقطع العمودي لحزمة أشعة الليزر عند مخرج الجهاز الذي يولدها مساوية لمساحة مقطعها على امتداد انتشار الحزمة حتى لو استمر هذا الامتداد

لمئات الكيلو مترات، بخلاف الضوء المرئي العادي الذي ينتشر من مصدر انطلاقه في جميع الاتجاهات.

٢- التركيز المكثف لطاقة حزمة الليزر بالنسبة لوحدة المساحة من مقطع الحزمة بحيث يمكن الحصول على حزم ليزر شديدة التركيز من حيث تدفق الطاقة (أي الطاقة الواقعة على وحدة المساحة من مقطع الحزمة). ونظراً لقرب زاوية تفرق الحزمة من الصفر يظل تركيز طاقة الحزمة على وحدة المساحة ثابتاً حتى بعد وصول الحزمة لمسافات بعيدة تصل إلى عشرات بل ومئات الكيلو مترات.

التأثيرات البيولوجية لأشعة الليزر

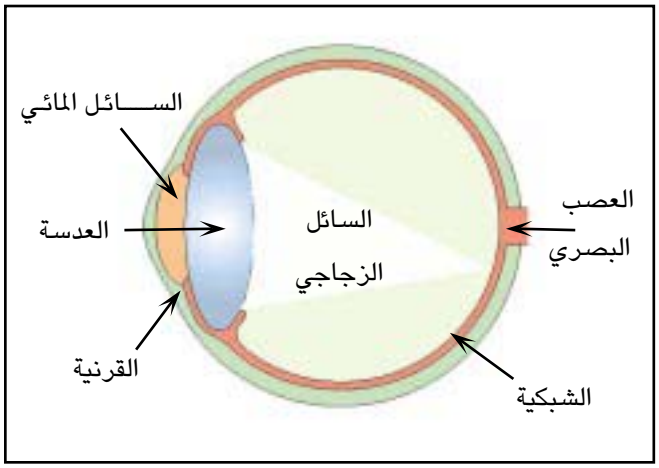
أكدت التجارب العلمية أن للموجات الكهرومغناطيسية التي تغطي شرائح الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء تأثيرات بيولوجية ضارة عند امتصاص الأنسجة البشرية بشكل خاص وكافة الأنسجة الحية بشكل عام بقدر كبير من طاقتها، وتأتي أنسجة الجلد والعين البشرية في المقام الأول من حيث تأثرها بحزم أشعة الليزر. وقد أكدت التجارب العلمية أن لأشعة الليزر تأثيرات بيولوجية شديدة الضرر على هذين العضوين عندما تتجاوز الجرعات الممتصة في أي منهما حدوداً معينة.

ويحدث التلف في العين البشرية أو الجلد عند سقوط حزم الليزر عليهما نتيجة لعمليات فيزيائية محددة تنتقل خلالها الطاقة من حزمة الأشعة إلى العضو المتعرض. ويمكن أن يؤدي انتقال طاقة حزمة الليزر إلى العضو المتعرض إلى أي من العمليات الثلاث التالية مرتبة وفقاً لدرجة إسهامها في إحداث الضرر بالعضو بدءًا من الإسهام الأكبر.

١- رفع درجة حرارة الخلايا التي تمتص طاقة الحزمة إلى حد يؤدي إلى موت الخلايا وحدوث تلف في العضو.

٢- إحداث تفاعلات كيميائية بفعل الضوء الممتص في بعض مكونات الخلايا.

٣- إمكانية تأيين بعض ذرات الخلايا المتعرضة لحزمة الليزر - عالية الطاقة - التي تقع خطوطها الطيفية ضمن شريحة الأشعة فوق البنفسجية رغم أن مثل هذه الأجهزة التي تصدر أشعة فوق بنفسجية عالية الطاقة غير متداولة كثيراً ويقتصر استخدامها على تطبيقات معينة وتتخذ بشأنها احتياطات كبيرة لحماية العاملين بها.



● شكل (١) بنية العين وأهم النظم البصرية فيها.

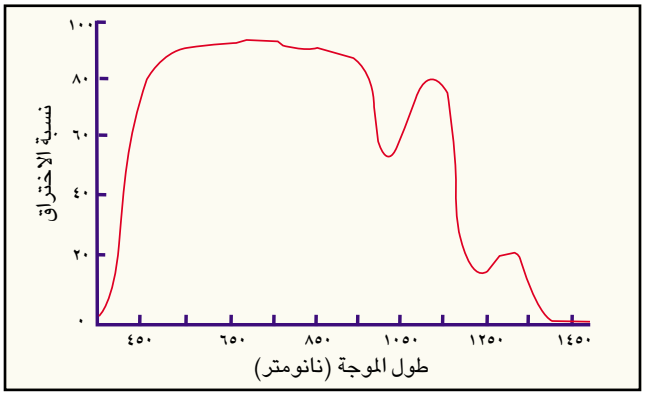
وعموماً يعتمد التلف الواقع في النسيج أو العضو البشري لهذه العمليات الثلاث على كل من: طول موجة حزمة الليزر، ونوع النسيج أو العضو المتعرض، و المعدل الزمني لانتقال الطاقة إلى هذا العضو، ومعدل تبدد الطاقة الحرارية منه.

● التأثيرات على العين

تمثل العين البشرية العضو الأكثر تأثراً بأشعة الليزر. ولفهم كيفية حدوث التلف في العين عند سقوط حزمة الليزر عليها ينبغي معرفة تركيب العين ومسار حزمة الأشعة فيها والأنسجة الأكثر تعرضا للتلف تبعاً للطول الموجي للحزمة الساقطة. فعند سقوط أشعة الليزر على قرنية العين، شكل (١)، تقوم القرنية بتجميع (أي بتركيز) حزمة الليزر التي تمر عبر كل من عدسة العين والسائل المائي الشفاف للعين والسائل الزجاجي حتى تسقط الحزمة في شكل نقطة صغيرة للغاية قرب الشبكية.

الجدير بالذكر أن عدسة العين عبارة عن نسيج شفاف وعائي مغلف بغلاف عضلي يتحكم في تكور سطحي العدسة حتى يمكن العدسة من تكييف الصورة على الشبكية. يعيق هذا الغلاف تبديد الطاقة الحرارية بالكفاءة المطلوبة عند امتصاصها في العدسة.

وتقوم عدسة العين بدورها بتكييف تركيز الحزمة بحيث تتكون الصورة أو النقطة الصغيرة على الشبكية. وأثناء مرور حزمة الليزر يمتص كل عضو من هذه الأعضاء جزءًا من طاقة الحزمة وتعتمد الطاقة الممتصة في كل عضو على الطول الموجي لحزمة الليزر. ويبين شكل (٢)، العلاقة بين نسبة الضوء الذي - ينفذ خلال القرنية والعدسة والسائل المائي والزجاجي للعين - يصل إلى الشبكية وبين الطول الموجي لهذا الضوء. ويتضح من هذا الشكل أن الأشعة فوق البنفسجية التي يقل طولها الموجي عن ٤٠٠ نانومتر تكاد لاتنفذ إلى الشبكية، وإنما



● شكل (٢) العلاقة بين نسبة الضوء النافذ للعين والطول الموجي.

تمتص في الأعضاء الأمامية للعين وهي القرنية والعدسة. أما الأشعة المرئية (التي تقع بين ٤٥٠و٧٥٠ نانومتر) وكذلك الأشعة تحت الحمراء القريبة ـ لايزيد طولها الموجي على ١٢٠٠ نانومتر ـ فإنها تنفذ إلى الشبكية دون حدوث امتصاص محسوس لطاقتها في الأعضاء الأخرى. وأما الأشعة تحت الحمراء التي يزيد طولها الموجي عن ١٢٠٠ نانومتر فيمتص الجزء الأكبر من طاقتها في الأعضاء الأمامية وخاصة القرنية والعدسة ولايصل إلى الشبكية سوى جزء يسير من طاقتها.

لذلك يمثل الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة ـ حتى حوالي ١٢٠٠نانومتر ـ أكبر المخاطر على الشبكية نظرا لانتقال النسبة الأعظم من طاقة هذا الضوء إلى الشبكية. أما بالنسبة للأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء البعيدة ـ يزيد طولها الموجي على ١٢٠٠نانومتر ـ فتسبب أكبر المخاطر على العدسة نظرا لامتصاصها معظم الطاقة .

* **تلف الشبكية**، وفي هذه الحالة يكون الضوء المرئي محدود التأثير على كل من القرنية والعدسة وشديد التأثير على الشبكية. وقد أوضحت التجارب العملية على بعض أنواع القرود ـ قريبة الخصائص البصرية مع الإنسان ـ أن تعرض العين لحزمة ليزر مرئي بمستوى تدفق للقدرة يبلغ حوالي ٣,١ مللي واط/سم٢ على الشبكية بواقع ثلاث ساعات يوميا ولمدة ٧ أيام يؤدي إلى إحداث حروق في الشبكية تنتهي بالعمى، في حين لاتتأثر العدسة كثيرا بمثل هذا التدفق.

ومن العوامل المؤدية إلى سرعة تلف الشبكية بفعل حزم الليزر المرئي وفي نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة أن كلا من القرنية والعدسة يؤديان إلى تركيز الضوء الساقط بمعامل يزيد على مائة ضعف. حزمة الليزر المتوازية التي تدخل من حدقة العين ـ يتراوح قطرها مابين ٤,٥إلى ٢,٥مم نهاراً، وبين ٨ إلى ٢,٥مم ليلاً ـ يتم تركيزها لتصبح في حدود جزء أو عدة أجزاء عشرية قليلة من المللي متر (٠,١ إلى ٠,٣مم) على الشبكية. وهذا يعني أن طاقة الحزمة تتركز في بقعة صغيرة للغاية على الشبكية، ونظراً لعدم وجود أوعية دموية في الشبكية ذاتها حتى تتمكن الدماء التي تسري فيها من تبديد الحرارة المتراكمة في الشبكية. وإنما توجد الأوعية الدموية في منطقة المشيمية (Choroid) الموجودة خلف الشبكية والتي تعد مصدر التغذية ومنطقة تبادل نفايات التمثيل الغذائي لخلايا الشبكية. لذلك تتبدد الحرارة المتراكمة في الشبكية ببطء ، حيث تنتقل الحرارة من الشبكية إلى المشيمية أولاً ثم تتبدد من خلال سريان الدم في أوعيتها، وهذا يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الشبكية.

وتجدر الإشارة إلى أن إرتفاع درجة حرارة الشبكية إلى حوالي ٤٥°م ـ أعلى قليلاً من درجة حرارة الإنسان المصاب بالحمى ـ يمكن أن يؤدي إلى إحداث تلف دائم في الشبكية يؤدي إلى العمى. ويبين جدول (١)، القيم العتبية لتدفق طاقة أو قدرة حزمة الليزر التي لايجوز تعرض العين البشرية لها، أو لأية قيم تتجاوزها تلافياً لتلف الشبكية وحدوث العمى الدائم .

* **عتامة عدسة العين**، وتحدث عندما يزيد معدل الطاقة الممتصة في العدسة من حزمة الليزر عن ١٥ مللي واط/سم٢ ـ الحد المسموح لتبديد الطاقة دون اعاقة لايتجاوز ١٠ إلى١٥ مللي واط/سم٢ـ وعليه فإن درجة حرارة العدسة عندما ترتفع إلى درجة عالية نسبياً قد تسفر عن حدوث العتامة في العدسة. أي مايعرف بمرض عتامة العدسة أو الكتراكت أو المياه البيضاء.

نوع الليزر أو الضوء	طول الموجة (نانومتر)	امتداد النبضة (ميكرو ثانية)	مستوى العتبة
موجة مستمرة ليزر نبضي	ضوء أبيض ٦٩٤	– ٢٠٠	٦ واط/سم٢ ٠,٨٥ جول/سم٢

● جدول (١) القيم الموجية لأشعة الليزر التي لايجوز تعرض العين البشرية لها.

وفي الظروف الجوية الطبيعية فإن مخاطر الإصابة بمرض المياه البيضاء تزداد عندما ترتفع درجة حرارة العدسة إلى حوالي ٤٥°م . ويحدث مثل هذا الارتفاع للحرارة عند سقوط حزمة ليزر مرئي يصل تدفق القدرة لها إلى عدة مئات من المللي واط/سم٢ .

وتجدر الإشارة إلى أن مرض المياه البيضاء الذي يصيب العدسة عند تراكم الطاقة من حزم الليزريحدث ـ غالباً ـ قرب السطح الخلفي لغلاف العدسة سواء كان الليزر من النوع المرئي أو فوق البنفسجي أو دون الأحمر. أما مرض المياه البيضاء الذي يحدث عن تقدم السن فغالباً مايحدث قرب السطح الأمامي لغلاف العدسة.

● التأثيرات على الجلد

عند سقوط أشعة الليزر بأنواعها المختلفة ـ المرئية وتحت الحمراء وفوق البنفسجية ـ يمتص الجزء الأكبر من طاقة الحزمة في الطبقة السطحية للجلد وتتحول الطاقة الممتصة إلى طاقة حرارية. ونظرا للتوصيلية الحرارية الرديئة للجلد بسبب افتقاره للأوعية الدموية ووجود طبقة دهنية عازلة تحته يكون تبدد الطاقة الحرارية المودعة في الجلد بطيئاً مما يؤدي إلى إرتفاع درجة الحرارة في الموضع المتعرض للحزمة إلى درجة عالية نسبياً. ويؤدي ارتفاع درجة حرارة الجلد إلى تبخر الماء المحدود الموجود في أنسجته وإلى فقد بروتين الجلد لخصائصه. وعند زيادة درجة الحرارة يمكن أن يحدث التهاب الجلد في الموقع المتعرض للحزمة، بل قد يتفحم.

وتعتمد درجة الضرر في الجلد المتعرض لحزم الليزر ـ بسبب ارتفاع درجة حرارته ـ على طول موجة الحزمة، ومدة التعرض، وكذلك على درجة التلون (أي الخضاب)، ويستعرض جدول (٢)، قيم الحد

الأدنى لتدفق طاقة حزمة الليزر على سطح ذراع شخص بالغ من العرق الأبيض، والتي يمكن أن تسبب تلف الجلد بالنسبة لبعض أنواع الليزر ولظروف مختلفة من التعرض.

● **الليزر والسرطان**

من النتائج العلمية المتوفرة حتى الآن أنه لاتوجد شواهد أكيدة للجزم بوجود علاقة بين التعرض لأشعة الليزر واحتمال استحثاث السرطان سواء بالنسبة لحزم الليزر في الشريحة المرئية أو تحت الحمراء في أي من العضوين المتأثرين بهذه الحزم وهما العين والجلد، وسواء عند التعرض لحزم الليزر بجرعات منخفضة وبطريقة مزمنة لفترات طويلة ، أو عند التعرض لجرعة حادة ـ عند انتقال كمية كبيرة من طاقة الحزمة ـ خلال فترة زمنية قصيرة. ومع ذلك فإنه ينبغي التروي في استخلاص النتائج واصدار الأحكام نظراً لأن ظهور السرطان المستحث بالعديد من العوامل كالأشعة المؤينة وغيرها لايقع سوى بعد فترات طويلة من الزمن قد تزيد على عشرين عاما. فضلا عن ذلك فإنه يستحيل فصل السرطانات المستحثة لأسباب مختلفة عن بعضها البعض أو عن تلك المستحثة طبيعيا والتي تمثل حوالي ٢٠٪ من أسباب الوفيات ،وتتضمن تراوحات إحصائية كبيرة يصعب في وجودها الخروج باستخلاص ونتيجة مؤكدة.

أما بالنسبة لأجهزة الليزر التي تصدر حزماً بتردد يقع في شريحة الأشعة فوق البنفسجية، فإنه يجب تبيان أن البحوث العلمية قد أثبتت وجود علاقة بين السرطان والتعرض لكميات كبيرة من هذه الأشعة. فقد أوضحت الشواهد التجريبية أن شريحة الأشعة فوق البنفسجية التي تقع أطوال موجاتها بين ٢٩٠ إلى ٣٢٠ نانومتر هي من الإشعاعات التي تستحث السرطان في الجلد. لذلك فإنه يمكن القول أن أجهزة الليزر التي تصدر حزماً بأطوال موجية تقع ضمن هذا المدى تمثل مخاطر سرطانية ـ وإن كانت محدودة ـ على المتعرضين لها .

درء المخاطر والحاجة لمعايير وطنية

رغم تنوع تطبيقات حزم الليزر في العديد من المجالات وانتشار استخدام أجهزتها إلا أنه لم تحظ متطلبات الحماية من أخطارها بالاهتمام الواجب سواء من قبل مستخدمي أجهزة الليزر أو من عامة البشر. ومن المؤسف أن عدم الاهتمام بالمخاطر بلغ درجة كبيرة حتى بات من المألوف مشاهدة صبية وأطفال يلهون بأقلام الليزر، بل وقد يوجهونها إلى أعين أقرانهم الأمر الذي قد يؤدي إلى فقدهم نعمة البصر.

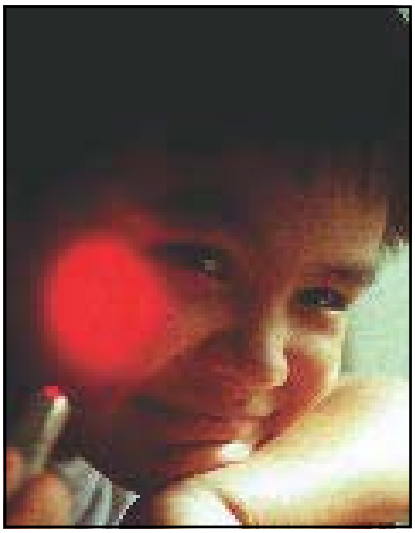
وللاستفادة الكاملة من خصائص حزم الليزر مع خفض مخاطرها للحد الأدنى ، عنيت الدول المتقدمة بوضع المعايير الوطنية، سواء بالنسبة للجهات المعنية بإنتاج الأجهزة المصدرة لحزم الليزر أو لمستخدميها. وإلى جانب إصدار التعلميات وتحديد متطلبات التداول الآمن حددت هذه الدول كيانات وطنية وكلفتها بمراقبة تطبيق المعايير والتعليمات الوطنية والالتزام بكافة متطلبات إنتاج واستخدام الأجهزة وتشغيلها حماية لمواطنيها.ففي الولايات المتحدة الأمريكية، على سبيل المثال ، تتحمل وكالتان وطنيتان مسؤولية تطبيق النظم والتعليمات الوطنية المعنية بالحماية من مخاطر حزم الليزر،وهما مكتب الصحة الإشعاعية التابع لإدارة الخدمات البشرية والصحية وإدارة الصحة والأمان المهني التابع لوزارة العمل .

وقد اعتمدت هاتان الهيئتان معايير وطنية أمريكية لإنتاج أجهزة الليزر والتعرض للحزم التي تنبعث منها. وقد قام المؤتمر الأمريكي الحكومي لعلماء الصحة والمعهد الوطني الامريكي للمعايير بتحديد الحدود القصوى المسموح بها للتعرض لحزم الليزر المباشرة أو للأشعة المتشتتة منها من جميع الأطوال الموجية والقدرات.

وفي عالمنا العربي ينبغي تسمية الجهات أو الهيئات التي تتولى مسؤوليات الحماية من مخاطر حزم الليزر ، وتكليف هذه الجهات بإعداد التعليمات الوطنية اللازمة للسيطرة على مخاطر أجهزة الليزر، ومراقبة إنفاذ هذه التعلميات، وتحديد المتطلبات التي ينبغي استيفاءها بالنسبة للمستخدمين من حيث التأهيل والتدريب، وتوسيم أجهزة الليزر، وتوفير المعدات الواقية للعيون والجلد، ومنع العبث وعدم الاكتراث الذي يرافق تداول هذه الأجهزة في بعض الأحيان .

نوع الليزر	طول الموجة (نانومتر)	مدة التعرض	مساحة التعرض (ملي متر)	الحد الأدنى لطاقة الحزمة جول / سم٢
ياقوت نبضي	٦٩٤	٠,٢ملي ثانية	٠,٢٤-٠,٣٤	١٤-٢٠
أرغون	٥٠٠	٦ ثواني	٩,٥	١٣-١٧
ثاني أكسيد الكربون	١٠٦٠	٤-٦ثواني	١٠٠	٤-٦

● جدول (٢) قيم الحد الأدنى لتدفق طاقة حزمة الليزر على سطح ذراع رجل أبيض.



● مخاطر أقلام الليزر على الأطفال.