رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء طبية

من إعداد: بن واعر جوهر و طبة سندس

الموضوع

دراسة الجرعة الإشعاعية المتسربة من الأجهزة الطبية باستخدام عداد Thermo Scientific RadEye G-10 وتأثيرها على العاملين في أقسام الأشعة

نوقشت يوم: 2026\06\01

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

الأستاذ	الرتبة	الجامعة	الصفة
نعام آمال	أستاذة تعليم عالٍ	جامعة ورقلة	رئيسا
بن طويلة عمر	أستاذ تعليم عالٍ	جامعة ورقلة	ممتحنا
قريشة سليمة	أستاذة تعليم عالٍ	جامعة ورقلة	مقررا

2025 \ 2026

الإهـــــداء

إلى رغم كل ما مررت به، ظلت صامدة ...

ليس فخرا بإنجاز يرى؛ بل عرفانا بصبر طويل.

نفسي حفظها الله

إلى من أمن بي وبقدراتي، وكان عونا لي طوال مسيرتي

صاحب الحنان الصامت ...بارك الله في عمره.

أبي العزيز

إلى من كانت النور حين أظمت دروبي، واليد التي لم تخذلني أبداً،أطال الله في عمرها.

أمي الغالية

إلى من كان وجودهم نعمة لا تقدر ***أخواتي العزيزات***.

إلى من تحلو معهم الحياة وصنعوا أجمل الذكريات ***صديقاتي الوفيات***.

إلى **جميع *عائلتي*** الأحياء منهم والأموات

إلى كل من علموني ووجهوني، إلى كل من كان سند وترك أثراً في هذا العمل

لكم مني خالص الشكر والامتنان.

سندس طبة

الإهـــــداء

الحمد لله الذي ما تم جهد إلا بعونه وما خُتم سعي إلا بفضله

أهدي تخرجي إلى من أحمل إسمه بكل فخر.

إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي الطريق العلم

بارك الله في عمرك

أبي الغالي

إلى من علمتني الأخلاق قبل الحروف,إلى ملاكي في الحياة

نبع الحنان وصدر الدعاء

أمي الحبيبة

إلى من كانوا ولازالوا سندا لي في الحياة

إخوتي الأعزاء

كلٌ باسمه كنتم الضحكة التي خففت كل تعب

إلى من كان بجانبي،كل من قدم لي كلمة طيبة أو لمسة دعم

لكم جميعا من القلب كل الامتنان.

بن واعر جوهر

شكر وتقدير

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى, الحمد لله حمدا كثيرا طيباً مبارك فيه أن وفقنا وألهمنا الصبر على المشاق التي واجهتنا لإنجاز عملنا هذا.

من منطلق من لم يشكر الناس لم يشكر الله نتقدم بجزيل الشكر و خالص الامتنان إلى الأستاذة المشرفة ***قريشة سليمة*** *أستاذةُ تعليمٍ عالٍ بجامعة ورقلة على ما قدمته من توجيهات علمية ثمينة ونصائح بناءة وملاحظات دقيقة كان لها بالغ الأثر في توجيه هذا البحث إلى مساره الصحيح و إخراجه في صورته النهائية فلكي منا فائق الاحترام والتقدير.*

نرفع أسمى آيات الشكر للأستاذة نعام آمال أستاذةُ تعليمٍ عالٍ بجامعة ورقلة على تكرمها بقبول ترؤس لجنة مناقشتنا.

نتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ بن طويلة عمر أستاذُ تعليمٍ عالٍ بجامعة ورقلة على عطائه العلمي و على تفضله بقراءة هذا العمل ومناقشته، وعلى ما سيقدمه من ملاحظات علمية تسهم في إثراء هذا العمل وتطويره، و بقبوله عضو ممتحنا في لجنة مناقشتنا.

نتوجّه بخالص الامتنان والتقدير إلى الأستاذ دامة أحمد فيزيائي طبي، مصلحة العلاج بالأشعة CAC، مستشفى محمد بضياف، ورقلة عرفانًا بجميل صبره وتفانيه في الشرح المستفيض لآلية عمل الأجهزة والقياسات المختلفة، وما قدّمه لنا من توجيهات قيّمة وتسهيلات ساهمت بشكل كبير في إنجاز هذا العمل. فبفضل دعمه وتعاونه الدائم، تمكّنّا من اكتساب معارف تطبيقية مهمّة كان لها أثر واضح في إثراء هذه الدراسة وإتمامها في أفضل الظروف.

نتقدّم بخالص الشكر والتقدير إلى السيد ردّاس لطفي رئيس مصلحة الأشعة بمستشفى محمد بضياف بولاية ورقلة، على ما قدّمه من تسهيلات ومساعدة قيّمة في إنجاز القياسات الإشعاعية، وعلى تعاونه ودعمه.

الفهرس

الإهداء	I
شكر وعرفان	II
الفهرس	III
قائمة الأشكال	IV
قائمة الجداول	V
مقدمة عامة	1
الفصل الأول: أساسيات الإشعاع المؤين	
1.1 مقدمة	3
2.1 مدخل إلى أساسيات الإشعاع المؤين	4
1.2.1 ماهية الإشعاع المؤين وخصائصه	4
1.1.2.1 تعريف الإشعاع المؤين	4
2.1.2.1 الإشعاع غير مؤين	5
2.2.1 مصادر توليد الإشعاع المؤين	6
3.2.1 تصنيف الإشعاع المؤين	6
1.3.2.1 جسيمات ألفا	6
2.3.2.1 جسيمات بيتا	7
3.3.2.1 النيوترونات	8
4.3.2.1 البروتونات	8
5.3.2.1 أشعة غاما	8
6.3.2.1 الأشعة السينية	9
3.1 الجرعات الإشعاعية و ووحدات قياسها	10
1.3.1 الجرعات الإشعاعية	11
2.3.1 جرعة التعرض للإشعاع	11
3.3.1 جرعة الإشعاع الممتص	12
4.3.1 الجرعة المكافئة أو الفعالة	13
5.3.1 التأثير الحيوي النسبي (RBE)	13
6.3.1 الجرعة الإشعاعية القصوى المسموح بها	14
7.3.1 الجرعة الفعالة لكامل الجسم (E)	14
8.3.1 التعرض المهني للإشعاع	15

1.8.3.1 الممارسات	15
2.8.3.1 التدخلات	15
4.1 التفاعل المتبادل بين الإشعاعات المؤينة و المادة	15
1.4.1 انتقال الطاقة بين الجسيمات الثقيلة و المادة	15
2.4.1 التفاعل المتبادل بين الالكترونات و المادة	16
3.4.1 التفاعل المتبادل بين أشعة غاما والمادة	16
1.3.4.1 الفعل الكهروضوئي	16
2.3.4.1 تأثير كومبتون	16
3.3.4.1 إنتاج الزوج	17
4.4.1 التفاعل المتبادل بين النيوترونات والمادة	17
1.4.4.1 التشتت المرن	17
2.4.4.1 التشتت غير المرن	17
3.4.4.1 الأسر النيوتروني	17
5.1 التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة	18
1.5.1 التأثيرات الجسدية (الذاتية)	19
2.5.1 التأثيرات الوراثية	19
3.5.1 المسارات الحيوية لدخول المواد المشعة في جسم الإنسان	19
1.3.5.1 الجهاز الدوري	19
2.3.5.1 الجهاز التنفسي	19
3.3.5.1 الجهاز الهضمي	20
4.3.5.1 الخلية الحية	20
4.5.1 تفاعل الإشعاعات المؤينة مع الخلية	21
1.4.5.1 المرحلة الفيزيائية	21
2.4.5.1 المرحلة الفيزيوكيميائية	21
3.4.5.1 المرحلة الكيميائية	22
4.4.5.1 المرحلة البيولوجية	22
5.5.1 التأثيرات الحتمية والعشوائية للإشعاعات المؤينة	23
1.5.5.1 التأثيرات الحتمية للإشعاعات	23
6.1 الحماية (الوقاية) من الإشعاع	24
1.6.1 مقدمة	24

2.6.1 ماذا يعني بالحماية من الإشعاع؟	24
3.6.1 المبادئ الأساسية الثلاثة للممارسة الإشعاعية	24
1.3.6.1 التبرير (الفوائد تفوق الأضرار)	24
2.3.6.1 التحسين (مبدأ ALARA)	24
3.3.6.1 حدود الجرعات	25
4.6.1 العوامل الأساسية للحماية	25
1.4.6.1 الزمن	25
2.4.6.1 المسافة	25
3.4.6.1 الدروع	25
5.6.1 القوانين والتوصيات الدولية	25
1.5.6.1 الوكالة الدولية للطاقة الذرية	25
2.5.6.1 اللجنة الدولية للحماية من الاشعاع	26
3.5.6.1 دور اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع	26
4.5.6.1 دور الوكالة الدولية للطاقة الذرية	26
5.5.6.1 توصيات	26
مراجع الفصل الأول	28
الفصل الثاني: تقنيات العلاج الإشعاعي و الأجهزة المستخدمة	
1.2 مقدمة	29
2.2 تقنيات العلاج بالأشعة	29
3.2 أنواع العلاج الإشعاعي	30
1.3.2 العلاج الإشعاعي الخارجي(EBRT)	30
1.1.3.2 العلاج بالإلكترونات (EBT)	31
2.1.3.2 العلاج الإشعاعي ثلاثي الأبعاد المطابق 3D-CRT	31
3.1.3.2 العلاج الإشعاعي المعدّل الشدة (IMRT)	31
4.1.3.2 العلاج الإشعاعي أثناء الجراحة (IORT)	31
5.1.3.2 العلاج بالنيوترونات	32
6.1.3.2 العلاج بالبروتونات	32
7.1.3.2 العلاج الإشعاعي التجسيمي للجسم (SBRT)	33
8.1.3.2 الجراحة الإشعاعية التجسيمية (SRS)	33
9.1.3.2 التشعيع الكلي للجسم (TBI)	33

2.3.2 العلاج الإشعاعي الداخلي(الموضعي)(Brachytherapy)	34
1.2.3.2 العلاج الإشعاعي الموضعي عالي الجرعة	34
2.2.3.2 العلاج الإشعاعي الموضعي بجرعات منخفضة	35
3.2.3.2 المعالجة الإشعاعية بالبذور الدائمة	35
3.3.2 العلاج الإشعاعي الجهازي	35
1.3.3.2 تقنية العلاج الإشعاعي الجهازي	35
2.3.3.2 الأدوية المستخدمة في العلاج الإشعاعي الجهازي	35
1.2.3.3.2 العلاج الإشعاعي المناعي	36
2.2.3.3.2 العلاج الإشعاعي بمستقبلات الببتيد(PRRT)	36
4.2 الأجهزة المستخدمة في العلاج الإشعاعي	36
1.4.2 أجهزة العلاج الإشعاعي الخارجي	36
1.1.4.2 المسرع الخطي LINAC (Linear Accelerator)	36
2.1.4.2 جهاز الكوبالت(Cobalt-60)	38
3.1.4.2 أجهزة العلاج بالبروتون	39
4.1.4.2 تقنية غاما نايف(Gamma Knife)	40
5.1.4.2 نظام الجراحة الإشعاعية الروبوتية (CyberKnife)	41
2.4.2 أجهزة العلاج الاشعاعي الداخلي (Brachytherapy)	42
1.2.4.2 أجهزة التحميل اللاحق الآلي (Afterloading Systems)	42
1.1.2.4.2 الغرسات المؤقتة (حبيبات أو مصادر مشعة صغيرة)	42
2.1.2.4.2 الغرسات (الزراعة) الدائمة	43
2.2.4.2 القساطر والمطبقات (applicators/catheters)	43
1.2.2.4.2 القسطرة	43
2.2.2.4.2 المُطبِّقات	43
3.3.2 العلاج بالنظائر المشعة (Radionuclide Therapy)	43
مراجع الفصل الثاني	45
الفصل الثالث: دراسة ميدانية، نتائج و تحليل	
1.3 مقدمة	46
2.3 هدف الدراسة	46
3.3 وصف مكان الدراسة	47
1.3.3 قسم التصوير الطبي	47

2.3.3 قسم العلاج بالأشعة	47
4.3 خصائص عينة العاملين	47
5.3 الجهاز المستخدم في قياس الاشعاع	47
1.5.3 خصائص عدادات RadEye G-10	48
2.5.3 قيود عدادات RadEye G-10	48
6.3 بروتوكول قياس الإشعاع	48
1.6.3 نقاط القياس	49
2.6.3 المسافات	49
3.6.3 زمن القياس	49
4.6.3 حالة الجهاز (تشغيل/إيقاف)	49
7.3 قياس الإشعاع المتسرب	49
1.7.3 قياس الإشعاع داخل غرف الأشعة السينية (X-ray)	49
1.1.7.3 تحليل نتائج القياس	50
2.1.7.3 مقارنة النتائج بالحدود المهنية	50
3.1.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم الأشعة السينية	51
2.7.3 قياس الإشعاع داخل غرف جهاز الأشعة المقطعية (CT) السكانر	51
1.2.7.3 تحليل نتائج القياس	52
2.2.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم السكانر	53
3.7.3 قياس الإشعاع في مصلحة العلاج الإشعاعي (مصدر الكوبالت 60)	53
1.3.7.3 تحليل نتائج القياس	54
2.3.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم الاشعاع باستخدام(الكوبالت−60)	55
4.7.3 قياس الإشعاع عند المسرع الخطي صنف Varian 2100 من دون وجود مصدر الكوبالت− 60	55
1.4.7.3 تحليل النتائج	56
2.4.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم الإشعاع باستخدام المسرع الخطي	56
8.3 تحليل نتائج الاستبيان	57
1.8.3 مقدمة	57
2.8.3 الموارد و الأساليب	57
3.8.3 تحليل نتائج المحور الأول: بيانات عامة عن المشاركين	58
4.8.3 تحليل نتائج المحور الثاني: سنوات الخبرة المهنية والجنس	58
5.8.3 تحليل نتائج المحور الثالث: أقسام العمل وساعات العمل اليومية	59

6.8.3 تحليل نتائج المحور الرابع: نوع الجهاز الإشعاعي المستخدم في العمل	60
7.8.3 تحليل نتائج المحور الخامس: سلوكيات الحماية من الإشعاع لدى العاملين	61
8.8.3 وسائل الوقاية الإشعاعية	62
9.8.3 تقييم إجراءات الحماية في قسم المستشفى	62
10.8.3 الأسئلة المفتوحة	63
11.8.3 مناقشة عدم اليقين في القياس	64
مراجع الفصل الثالث	65
خلاصة عامة	66
ملحق: الإستبانة	68

قائمة الأشكال

الشكل	العنوان	الصفحة
الفصل الأول: أساسيات الإشعاع المؤين		
الشكل (1.1)	المواد المشعة الخطرة أو الإشعاع المؤين أو عناصر قابلة للاشتعال	4
الشكل (2.1)	رمز الإشعاع الكهرومغناطيسي غير المؤين	5
الشكل (3.1)	الإشعاع الكهرومغناطيسي المؤين و غير المؤين	6
الشكل (4.1)	مدى اختراق الإشعاع المؤين لبعض المواد	10
الشكل (5.1)	ملخص الوحدات المستخدمة في مجال قياس الإشعاع	11
الشكل (6.1)	مخطط تفاعل الإشعاع المؤين مع المادة	18
الشكل (7.1)	شكل تخطيطي يمثل خلية حيوانية	20
الفصل الثاني: تقنيات العلاج الإشعاعي و الأجهزة المستخدمة		
الشكل (1.2)	صورة فوتوغرافية لجهاز المسرع الخطي	37
الشكل (2.2)	مكونات جهاز المسرع الخطي.	37
الشكل (3.2)	المكونات الرئيسية لجهاز الكوبالت−60	38
الشكل (4.2)	الأجزاء الرئيسية لجهاز العلاج بالبروتونات	39
الشكل (5.2)	شكل تخطيطي لجهاز الغاما نايف و ملحقاته	41
الشكل (6.2)	صورة لجهاز CyberKnife	42
الفصل الثالث: دراسة ميدانية، نتائج و تحليل		
الشكل (1.3)	جهاز RadEye G-10	47
الشكل (2.3)	المشاركين في الاستبيان حسب الجنس	58

قائمة الجداول

الجداول	العنوان	الصفحة
الفصل الأول: أساسيات الإشعاع المؤين		
الجدول (1.1)	التأثير الحيوي النسبي لبعض الإشعاعات المؤينة	13
الجدول (2.1)	عامل النسيج المرجح W_{Ti} لبعض أعضاء الجسم.	15
الفصل الثالث: دراسة ميدانية، نتائج و تحليل		
الجدول(1.3)	قياسات الإشعاع في غرفة الأشعة السينية (X-ray) أثناء التشغيل وعدم التشغيل	49
الجدول(2.3)	الجرعات الإشعاعية السنوية بجهاز الأشعة السينية مقارنة بالحدود الدولية	51
الجدول(3.3)	قياسات الإشعاع بجهاز السكانير (CT)	51
الجدول(4.3)	الجرعات الإشعاعية السنوية بجهاز السكانر مقارنة بالحدود الدولية	53
الجدول(5.3)	قياسات الإشعاع في مصلحة العلاج الإشعاعي بالكوبالت−60	53
الجدول(6.3)	الجرعات الإشعاعية السنوية بمصدر الكوبالت−60 مقارنة بالحدود الدولية	55
الجدول(7.3)	قياسات الإشعاع عند المسرّع الخطي Varian 2100 في حالة عدم التشغيل	55
الجدول(8.3)	معدل الجرعات الإشعاعية السنوية باستخدام المسرع الخطي مقارنة بالحدود الدولية	56
الجدول(9.3)	توزيع العينة حسب الجنس والفئة العمرية	58
الجدول(10.3)	توزيع العينة حسب سنوات الخبرة والجنس	58
الجدول(11.3)	توزع العاملين في أقسام العمل وساعات عملهم	59
الجدول(12.3)	نوع الجهاز الإشعاعي والقرب منه أثناء العمل	60
الجدول(13.3)	ممارسات الحماية الإشعاعية أثناء العمل	61
الجدول(14.3)	تقييم مستوى تطبيق إجراءات الحماية الإشعاعية في قسم المستشفى	62

مقدمة عامة

مقدمة عـامة

مع التقدم المتسارع في العلوم الطبية، أصبحت الإشعاعات المؤينة وسيلة محورية تُعتمد بشكل كبير في مجالي التشخيص والعلاج، خاصة في ميدان المعالجة الإشعاعية للأورام (Radiotherapy). بالرغم من الدور الحيوي الذي تؤديه هذه التقنيات في تعزيز فرص الشفاء والارتقاء بمستوى الخدمات الصحية، إلا أنها تنطوي على أخطار إشعاعية محتملة قد تُلحق أضرارًا بالمرضى والعاملين على حد سواء، في حال عدم الالتزام الصارم بمعايير وإجراءات الوقاية الإشعاعية.

تنبع أهمية هذا الموضوع من التوسع الملحوظ في توظيف الإشعاعات المؤينة لاسيما داخل وحدات العلاج الإشعاعي، الأمر الذي يفرض ضرورة إجراء تقييم منهجي ودقيق لمدى كفاءة وسائل الحماية المعتمدة وكذا الأجهزة المستعملة، بهدف تحقيق أقصى درجات السلامة وضمان فعالية الاستخدام، مع تقليل الأخطار المرتبطة بالتعرض الطويل أو الجرعات المرتفعة من الإشعاع. بينت العديد من الأبحاث الحديثة أن عدم التقيد ببعض متطلبات الوقاية، أو وجود نقص في التأهيل والتجهيزات، قد يُعرّض العاملين والمرضى لمخاطر فعلية داخل بيئة العمل الإشعاعي.

يهدف هذا العمل إلى تحقيق جملة من الأهداف من أبرزها:

- ✓ تحديد مستوى تطبيق منظومات الوقاية من الإشعاع داخل أقسام العلاج الإشعاعي ومدى كفاءتها.
- ✓ تحليل مدى نجاعة الإجراءات المعتمدة في الحد من التأثيرات الضارة للإشعاع على كل من الطاقم الطبي والمرضى.
- ✓ بحث درجة التقيد الفعلي بالمعايير الدولية والإرشادات الصادرة عن الهيئات المختصة مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) واللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP).
- ✓ اقتراح حلول وتوصيات عملية قابلة للتنفيذ من شأنها تعزيز أنظمة الحماية وتحسين مستوى السلامة الإشعاعية.

تتألف هذه المذكرة من مقدمة عامة، ثلاثة فصول، خلاصة عامة و ملحق:

في الفصل الأول: "أساسيات الإشعاع المؤين"، سيتم التطرق إلى مجموعة من المبادئ التمهيدية المرتبطة بهذا المجال، حيث سنستعرض ماهية الإشعاع المؤين وتصنيفاته المختلفة، بالإضافة إلى الجرعة الإشعاعية ووحداتها، كما سنتطرق لكيفية تفاعله مع الأنسجة الحية، مع تسليط الضوء على تأثيراته البيولوجية سواء الآنية أو بعيدة المدى. كما سنخصص جزءًا مهمًا للحديث عن الوقاية الإشعاعية من خلال عرض ركائزها الأساسية المتمثلة في الزمن، والمسافة، ووسائل التدريع. وسيتم كذلك تناول التعرض المهني للإشعاع، ثم

التطرق إلى أهم التشريعات والتوصيات الدولية المنظمة لهذا المجال، الصادرة عن هيئات مختصة مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) واللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP).

أما الفصل الثاني الموسوم بـ : "تقنيات العلاج الإشعاعي و الأجهزة المستخدمة"، فسيتم فيه التوسع في عرض تقنيات المعالجة بالأشعة، من خلال استعراض مختلف أنماط العلاج الإشعاعي كالعلاج الخارجي والداخلي، إضافة إلى تقنيات الإلكترونات والبروتونات وغيرها. كما سيتم التعريف بأهم التجهيزات المعتمدة في هذا المجال، مثل المسرّع الخطي، وأجهزة الكوبالت، وأنظمة تخطيط العلاج. وسيتناول الفصل كذلك أبرز وسائل الحماية المستخدمة، بما في ذلك وسائل التدريع كالجدران والأبواب والمواد الواقية، وأجهزة الرصد كأجهزة قياس الجرعات وأنظمة الإنذار، إلى جانب تصميم المرافق بما يضمن السلامة كالغرف المحصنة والإشارات التحذيرية. كما سيتم التطرق إلى بروتوكولات السلامة، والتي تشمل عمليات الصيانة، والمراقبة اليومية، وإجراءات التدخل في الحالات الطارئة.

في الفصل الثالث المعنون بـ : "الدراسة الميدانية: النتائج والتحليل"، سيتم التركيز على الجانب التطبيقي الذي يُعد ذا أهمية كبيرة في تشخيص الواقع الفعلي لممارسات الوقاية داخل المؤسسات الصحية، وكشف مدى التقيد بالمعايير الدولية المعتمدة. حيث تُمكّن هذه الدراسة من تقدير مستويات الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها العاملون، ومقارنتها بالحدود المسموح بها، إضافة إلى تقييم درجة وعي الطاقم الطبي بمخاطر الإشعاع وأساليب الحماية منه. وقد اعتمدنا في هذا الإطار على دراسة ميدانية لتقييم كفاءة أنظمة الحماية في أقسام العلاج الإشعاعي، من خلال استخدام مجموعة من أدوات جمع المعطيات، مثل الاستبيانات، والمقابلات، والقياسات الإشعاعية المباشرة.

سعينا هذا العمل إلى إبراز أهم الصعوبات التي قد تحول دون التطبيق الأمثل لإجراءات السلامة، كضعف الإمكانيات أو نقص التكوين، بهدف تقديم توصيات عملية من شأنها تحسين ظروف العمل وتعزيز ثقافة الوقاية الإشعاعية.

يمكن القول إن هذا العمل يندرج ضمن الدراسات التطبيقية التي تهدف إلى تقييم فعالية أنظمة الحماية من الإشعاع داخل أقسام العلاج الإشعاعي، من خلال دراسة ميدانية تُبرز الواقع العملي لممارسات الوقاية ومدى الالتزام بالمعايير الدولية. وقد سمحت هذه الدراسة بتقدير مستويات التعرض الإشعاعي لدى العاملين، وتحليلها في ضوء الحدود المسموح بها، إلى جانب تقييم درجة الوعي بمخاطر الإشعاع وسبل الوقاية منه. كما مكّن هذا البحث من تحديد أبرز التحديات التي قد تعيق التطبيق الأمثل لإجراءات السلامة، مثل نقص الإمكانيات أو محدودية التكوين، مع اقتراح مجموعة من التوصيات العملية التي من شأنها تحسين بيئة العمل وتعزيز ثقافة الوقاية الإشعاعية.

في النهاية نُقَدِّم خلاصةً عامّةً، نوجزُ فيها أَهَمَّ النتائج التي تحصلنا عليها، و الآفاقَ الممكنةَ لمواصلة البحث في هذا المجال.

الفصل الأول

أساسيات الإشعاع المؤين

الفصل الأول: أساسيات الإشعاع المؤين

1.1 مقدمة

يُعتبر الإشعاع المؤين عنصرًا محوريًا في ميدان الطب النووي، لما له من أهمية كبيرة في تشخيص الأمراض وعلاجها، خاصة داخل مصالح الأشعة والعلاج الإشعاعي. يستلزم توظيف هذا النوع من الإشعاع إلمامًا شاملاً بخصائصه الفيزيائية وانعكاساته البيولوجية على الكائن الحي. من جهة أخرى تُصنَّف الإشعاعات المؤينة ضمن المخاطر المهنية في بيئة العمل، إذ يمكن أن تؤدي بمختلف أشكالها إلى أضرار صحية قد تكون غير قابلة للعلاج. لذلك، فإن الالتزام بتطبيق إجراءات الوقاية من التعرض للإشعاع المؤين يُعد أمرًا ضروريًا للحفاظ على سلامة وصحة العاملين [1].

يتطرق هذا الفصل إلى تقديم نظرة شاملة حول الأسس العامة للإشعاع المؤين، من حيث ماهيته وتصنيفاته المتعددة، إلى جانب توضيح مفهوم الجرعة الإشعاعية باعتبارها المعيار الأساسي لقياس كمية الإشعاع الممتصة، مع التعريف بأبرز وحداتها الفيزيائية والبيولوجية. كمايستعرض الفصل آليات تفاعل الإشعاع المؤين مع الأنسجة الحية، وما ينجم عنه من تأثيرات بيولوجية قد تظهر على المدى القريب أو البعيد، مع تسليط الضوء على العوامل التي تتحكم في درجة خطورتها. وفي سياق التقليل من هذه المخاطر، سواء كانت فورية أو متأخرة، كما يتم التطرق إلى المبادئ والإجراءات الوقائية المناسبة.

كما يسلّط الفصل الضوء على أُسس الحماية من الإشعاع، باعتبارها عنصرًا جوهريًا لضمان سلامة المرضى و العاملين على حد سواء. سيتم التطرق إلى المبادئ الأساسية للحماية من الاشعاع والمتمثلة في: التحكم في زمن التعرض، زيادة المسافة عن مصدر الإشعاع، واستخدام وسائل التدرع المناسبة.

يُختتم الفصل بعرض الحدود المسموح بها للتعرض المهني وفق توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع، والتي تمثل مرجعًا عالميًا في وضع المعايير والإرشادات الهادفة إلى ضمان سلامة العاملين والجمهور من أخطار الإشعاع المؤين. كما يتناول هذا الفصل القواعد الأساسية للوقاية من الإشعاع، باعتبارها ركيزة ضرورية للحفاظ على سلامة كلٍّ من المرضى والعاملين. ويتم التركيز على المبادئ الجوهرية للحماية الإشعاعية، والمتمثلة في تقليل مدة التعرض، والابتعاد قدر الإمكان عن مصدر الإشعاع، إلى جانب الاعتماد على وسائل التدريع الملائمة. كما يناقش موضوع التعرض المهني

للإشعاع، الذي يُعد من القضايا الجوهرية بالنسبة للعاملين في هذا المجال، من خلال دراسة مصادر هذا التعرض وتحديد مستوياته المختلفة.

يُختتم الفصل بعرض الحدود القصوى المسموح بها للتعرض المهني وفقًا لتوصيات اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع، التي تُعد مرجعًا عالميًا في وضع المعايير والتوجيهات الرامية إلى حماية العاملين والجمهور من مخاطر الإشعاع المؤين.

2.1 مدخل إلى أساسيات الإشعاع المؤين:

1.2.1 ماهية الإشعاع المؤين وخصائصه:

1.1.2.1 تعريف الإشعاع المؤين:

الإشعاع المؤين هو شكل من أشكال الطاقة يتميز بقدرته الكبيرة على إحداث تأيّن في ذرات وجزيئات المادة الحية. ينتقل هذا الإشعاع إمّا على هيئة جسيمات أو على شكل موجات كهرومغناطيسية، ويُعرف بقدرته على تكوين أيونات بصورة مباشرة أو غير مباشرة عند مروره عبر المادة، كما تختلف طاقته باختلاف المصدر الذي ينبعث منه.

تتنوع مصادر الإشعاع المؤين بين مصادر طبيعية، مثل الشمس ومكونات التربة، ومصادر صناعية تتمثل في الأجهزة المنتجة للأشعة السينية وغيرها من التقنيات المستخدمة في المجال الطبي والصناعي[2]،.....

يكون الاشعاع المؤين بشكل جسيمي مثل: جسيمات ألفا، بيتا، النيوترونات و البروتونات. أو بشكل موجات كهرومغناطيسية: أشعة γ, X ، الأشعة الكونيه[3]. يتميز الاشعاع المؤين بطول موجي قصير جدًا أقل من $10^{-8}\ m$ ، وتردد مرتفع أكبر من $3.10^{16}\ Hz$ [2].

يوضح الشكل (2.1) الرمز المتفق عليه للتنبيه على وجود إشعاع مؤين في الوسط المحيط بالعلامة

الشكل (1.1): المواد المشعة الخطرة أو الإشعاع المؤين

2.1.2.1 الإشعاع غير مؤين Non-Ionizing Radiation:

الإشعاع غير المؤين (Non-Ionizing Radiation) هو شكل من أشكال الموجات الكهرومغناطيسية التي تمتلك طاقة غير كافية لإحداث تأيّن في الذرات أو الجزيئات، أي أنها لا تستطيع نزع الإلكترونات بشكل كامل من مداراتها، وبالتالي لا تؤدي إلى تكوّن أيونات مشحونة. يقتصر تأثير هذا النوع من الإشعاع على إثارة الإلكترونات ودفعها للانتقال إلى مستويات طاقة أعلى دون إحداث تغيّر في البنية الداخلية للمادة.

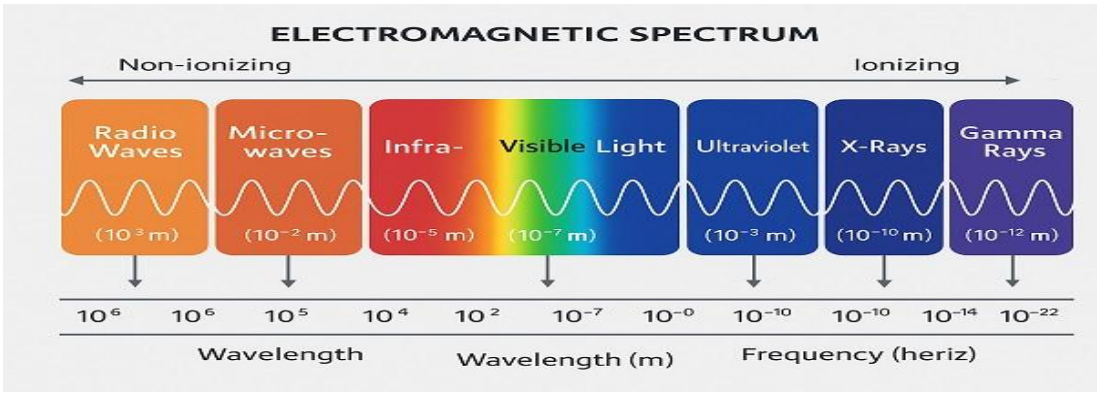
تصدر هذه الإشعاعات من مصادر طبيعية مثل ضوء الشمس، كما يمكن أن تنتج عن مصادر صناعية كأنظمة الاتصالات اللاسلكية وبعض الاستخدامات الطبية والصناعية. وتمتاز بانخفاض طاقتها وطول موجاتها الكبير نسبيًا، ومن أمثلتها موجات الراديو، والأمواج الميكروية، والإشعاعات الصادرة عن الهواتف المحمولة، إضافة إلى المجالات الناتجة عن خطوط الكهرباء.

يتمثل تأثيرها الأساسي في إحداث اهتزاز أو تحفيز للإلكترونات داخل الذرات، مما قد يؤدي إلى انتقالها بين مستويات طاقة مختلفة دون إحداث تغيرات بنيوية في أنسجة الكائنات الحية. ورغم ضعف طاقتها مقارنة بالإشعاع المؤين، إلا أنها قادرة على إحداث تأثيرات حرارية، مثل تسخين الماء في الأغذية عند استخدام أفران الميكروويف، دون تغيير خصائصها الكيميائية. وبوجه عام، فإن التعرض المفرط أو المطوّل لهذا النوع من الإشعاع قد يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأنسجة، لذا يُنصح بتجنب التعرض المستمر له لفترات طويلة

يوضح الشكل (2.1) الرمز المستعمل للدلالة على وجود إشعاع غير مؤين في مكان تواجد العلامة

الشكل (2.1): رمز الإشعاع الكهرومغناطيسي غير المؤين

يبين الشكل (3.1) الأطوال الموجية لمختلف أصناف الإشعاع الكهرومغناطيسي المؤين و غير المؤين



الشكل (3.1): الإشعاع الكهرومغناطيسي المؤين و غير المؤين

2.2.1 مصادر توليد الإشعاع المؤين:

✓ النويدات المشعة: هي عناصر ذات نوى غير مستقرة تسعى للوصول إلى حالة من الاستقرار عبر تفككها الإشعاعي، حيث تقوم بإطلاق جسيمات مختلفة مثل جسيمات ألفا أو بيتا أو النيوترونات، وقد يصاحب ذلك انبعاث إشعاعات كهرومغناطيسية على شكل فوتونات تعرف بأشعة غاما.

✓ الأجهزة الإلكترونية: تشمل مجموعة من الأجهزة التي تُنتج إشعاعات مؤينة، فمنها ما يولد الأشعة السينية، ومنها ما يقوم بإطلاق جسيمات مشحونة كالإلكترونات أو البروتونات، وذلك في إطار استخدامات طبية أو صناعية متعددة.

3.2.1 تصنيف الإشعاع المؤين:

و تنقسم إلى:

1.3.2.1 جسيمات ألفا Particles - α : هي نوى ذرات الهيليوم، تتكون من بروتونين ونيوترونين، مما يجعلها جسيمات ذات كتلة كبيرة نسبيًا وتحمل شحنة كهربائية موجبة. وبسبب هذه الشحنة، يمكن التأثير على مسارها وتوجيهه باستخدام المجالات الكهربائية أو المغناطيسية. كما يمكن إكسابها طاقات مرتفعة عن طريق تسريعها داخل المعجلات النووية. وتتميز جسيمات ألفا بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والإشعاعية التي تميزها عن باقي أنواع الإشعاعات المؤينة، منها[4]:

تعتمد سرعة جسيمات ألفا على طبيعة المصدر الإشعاعي الذي تنبعث منه.

✓ يبلغ مدى انتشارها في الهواء مسافة قصيرة لا تتجاوز عدة سنتيمترات، كما يمكن حجبها بسهولة باستخدام ورقة سميكة.

✓ تُحدث تأينًا في الوسط الغازي الذي تعبره نتيجة تفاعلها مع الذرات.

✓ تنحرف مساراتها عند تعرضها لمجالات كهربائية أو مغناطيسية بسبب شحنتها.

- ✓ تمتاز جسيمات ألفا بقدرة اختراق ضعيفة جدًا، إذ تفقد طاقتها بسرعة فور مغادرتها للمصدر المشع. ويرجع ذلك إلى شحنتها العالية التي تؤدي إلى إحداث تأيّن كثيف في الوسط الذي تمر عبره، مما يسبب استنزاف طاقتها بشكل سريع ويجعل مدى انتشارها محدودًا للغاية.
- ✓ قد تُحدث جسيمات ألفا أضرارًا صحية على الأنسجة التي تمر عبرها رغم قصر مسارها. يتم امتصاص هذا النوع من الإشعاع في الطبقة الخارجية من الجلد، لذا فإن تأثيره خارج الجسم يكون محدودًا. غير أن خطورته تزداد بشكل كبير إذا دخل إلى الجسم عن طريق الاستنشاق أو الابتلاع أو عبر الجروح، حيث يمكن أن يسبب تلفًا شديدًا في الأنسجة الداخلية.
- ✓ عند عبور جسيمات ألفا داخل المادة، تُحدث تأينًا لذراتها نتيجة شحنتها المرتفعة، إلا أن هذا التأين لا يكون منتظمًا على طول المسار، بل يزداد تدريجيًا ليبلغ أقصى شدته قرب نهاية مدى الجسيم[3].
- ✓ يُعد عنصر اليورانيوم U-238 من أبرز المصادر الطبيعية لجسيمات ألفا، حيث يطلق أثناء تحلله الإشعاعي أنوية ذرات الهيليوم، المعروفة بجسيمات ألفا.

2.3.2.1 جسيمات بيتا (β^+, β^-):

هي إلكترونات سالبة الشحنة أو بوزيترونات ذات شحنة موجبة، وتُعرف جسيمات بيتا بمجموعة من الخصائص، من أهمها:

- ✓ تنبعث من مصادر طبيعية وصناعية متعددة، ويعتمد مداها على سرعتها التي قد تقترب أحيانًا من سرعة الضوء.
- ✓ بما أنها جسيمات مشحونة، فإنها تتفاعل مع الذرات في الوسط الذي تعبره مسببة تأينًا، ولذلك يكون مداها في الهواء أكبر من مدى جسيمات ألفا بحوالي 280 مرة في الظروف القياسية من درجة الحرارة و الضغط النظامي.
- ✓ تُحدث تأينًا في الوسط الذي تمر به بدرجة أقل مقارنة بجسيمات ألفا.
- ✓ يمكنها قطع مسافات تصل إلى عدة سنتيمترات في الهواء قبل أن تُمتص، كما يمكن إيقافها بسمك صغير من مادة الألمنيوم.
- ✓ تمتلك قدرة اختراق أعلى من جسيمات ألفا بما يقارب 100 مرة.
- ✓ تنحرف بشكل أكبر عند تعرضها لمجال مغناطيسي مقارنة بجسيمات ألفا بسبب كتلتها الأصغر.
- ✓ لا يمكن إيقاف جسيمات بيتا بواسطة ورقة عادية، إلا أنه يمكن إيقافها باستخدام مواد ذات كثافة أكبر نسبيًا مثل الخشب أو المعادن الخفيفة، وقد تُسبب ضررًا صحيًا في حال اختراقها للأنسجة الحية[3].
- ✓ تتميز جسيمات بيتا بكتلة صغيرة نسبيًا، مما يمنحها قدرة أعلى على اختراق المواد مقارنة بجسيمات ألفا، لذلك يُستخدم الألمنيوم أو البلاستيك كحواجز واقية لامتصاصها وإيقافها. ولهذا

تُعد وسائل الحماية ضرورية عند التعامل معها، نظرًا لقدرتها على اختراق جسم الإنسان عند التعرض الخارجي. ويُعد الكربون من المصادر المهمة التي تُنتج إشعاعات بيتا[5].

3.3.2.1 النيوترونات:

تشكل النيوترونات أحد المكونات الأساسية التي تدخل في تركيب أنوية معظم الذرات، باستثناء نواة الهيدروجين. ويمكن إنتاج النيوترونات بطريقتين رئيسيتين: إما طبيعيًا أثناء تحلل النوى غير المستقرة، خاصة عند انشطار الذرات الثقيلة المشعة، أو صناعيًا من خلال تفاعلات نووية يتم التحكم فيها. كما تُستغل النيوترونات في المفاعلات النووية، حيث تلعب دورًا أساسيًا في توليد الطاقة الكهربائية وإنتاج بعض النظائر المشعة[5].

تكمن خطورة النيوترونات في كونها جسيمات متعادلة كهربائيًا، مما يمكّنها من اختراق نوى الذرات بسهولة دون أن تتعرض لقوى تنافر كهربائي، الأمر الذي قد يؤدي إلى تحويل بعض النوى إلى نوى غير مستقرة. وبسبب عدم امتلاكها شحنة كهربائية، فإن قدرتها على الاختراق تكون عالية جدًا، حيث يمكنها النفاذ إلى أعماق المواد المختلفة بما فيها الأنسجة الحية. وقد يؤدي التعرض لها إلى إحداث تغييرات في الخلايا الحية، وجعلها مصدرًا لنشاط إشعاعي ثانوي نتيجة التفاعلات النووية التي تُحدثها داخل الجسم.

4.3.2.1 البروتونات:

هي جسيمات تحمل شحنة كهربائية موجبة وتوجد داخل نوى جميع الذرات. وتُعد كتلتها قريبة جدًا من كتلة النيوترون. عادةً لا تنبعث البروتونات من النظائر المشعة الموجودة على سطح الأرض بشكل شائع، إلا أنها تنتشر بكميات كبيرة في الفضاء الخارجي، حيث تُشكل أحد مصادر الإشعاع التي قد تُعد خطرة على رواد الفضاء أثناء رحلاتهم خارج الغلاف الجوي.

5.3.2.1 أشعة غاما Gamma Rays :

تُعد أشعة غاما فوتونات ذات طبيعة كهرومغناطيسية تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء، ولا تمتلك شحنة كهربائية ولا كتلة سكونية. تتميز بطول موجي قصير جدًا وتردد مرتفع، مما يمنحها طاقة إشعاعية كبيرة. وبسبب هذه الخصائص، فهي تمتلك قدرة عالية على اختراق المواد، بما في ذلك جسم الإنسان.

تنشأ أشعة غاما من أنوية الذرات غير المستقرة أثناء عمليات التحلل الإشعاعي، سواء بعد الانقسام أو تفكك أحد مكونات النواة، كما يمكن أن تنتج أيضًا عند فناء الجسيمات مع مضاداتها، مثل تفاعل الإلكترون مع البوزيترون حيث يتحولان إلى أشعة غاما. وفي بعض حالات التحلل الإشعاعي، يتبع انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا إصدار أشعة غاما، وذلك بهدف وصول النواة إلى حالة الاستقرار.

ونظرًا لقدرتها الكبيرة على الاختراق، تتطلب الحماية منها استخدام دروع واقية مصنوعة من مواد ذات أعداد ذرية وكتلية مرتفعة مثل الرصاص. ويُعد عنصر الكوبالت $CO-60$ من أهم المصادر الصناعية لأشعة غاما.

تتميز أشعة غاما بما يلي[3]:

تتراوح طاقة فوتونات أشعة غاما عادة بين عدة كيلو إلكترون فولت (keV) وعدة ميغا إلكترون فولت (MeV).

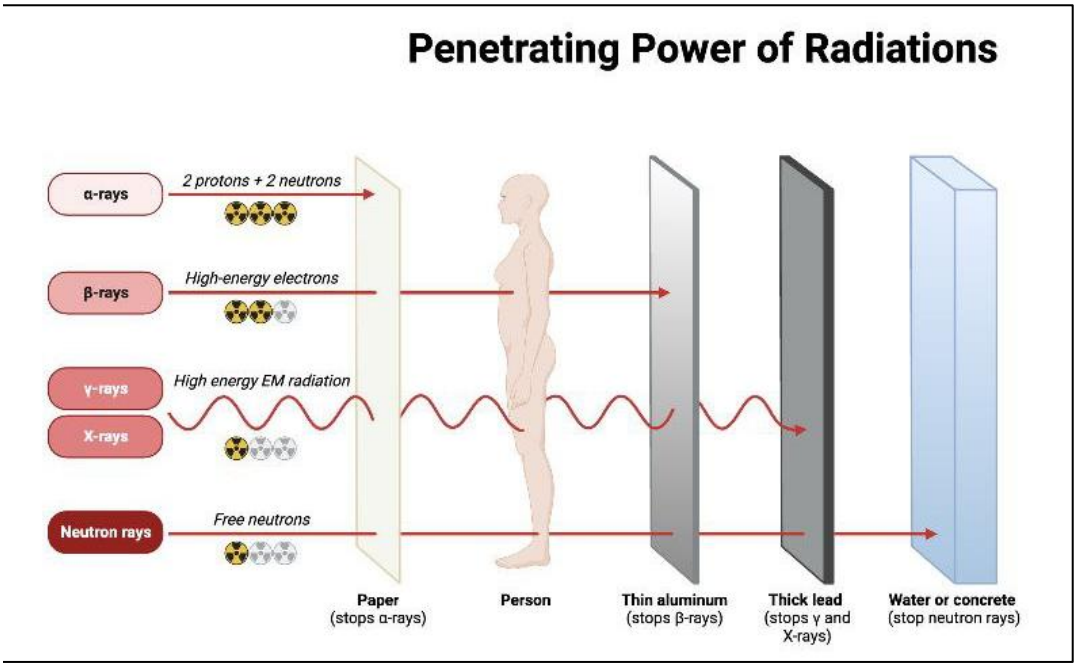
- ✓ نظرًا لطاقتها المرتفعة، فإن قدرتها على اختراق المواد كبيرة جدًا، إذ يمكنها النفاذ لمسافات معتبرة حتى داخل مواد كثيفة مثل الرصاص.
- ✓ تُحدث تأينًا في الغازات التي تمر خلالها ولكن بدرجة أقل مقارنة بالجسيمات المشحونة.
- ✓ لا تنحرف عند تعرضها لمجالات مغناطيسية، مما يؤكد طبيعتها كموجات كهرومغناطيسية.
- ✓ تُعتبر من أخطر أنواع الإشعاعات نظرًا لقوة اختراقها العالية التي تفوق جسيمات ألفا وبيتا، ويمكن الحد من نفاذها باستخدام حواجز سميكة من الخرسانة أو مواد عالية الكثافة.

6.3.2.1 الأشعة السينية X-Ray:

تُعد الأشعة السينية نوعًا من الإشعاعات الكهرومغناطيسية، وتشترك مع أشعة غاما في طبيعتها وخصائصها الفيزيائية، إلا أنها تختلف عنها من حيث مصدر الانبعاث ومستوى الطاقة. وتتميز بما يلي:

- ✓ تُنتج الأشعة السينية بشكل اصطناعي باستخدام أنابيب خاصة (أنابيب الأشعة السينية)، وتكون طاقتها وترددها أقل نسبيًا مقارنة بأشعة غاما.
- ✓ تمتلك قدرة كبيرة على اختراق المواد، مما يجعلها واسعة الاستخدام في المجال الطبي، خاصة في التصوير التشخيصي، وكذلك في التطبيقات الصناعية المختلفة.
- ✓ نظرًا لخطورتها، يتطلب التعامل معها اتخاذ إجراءات وقائية مناسبة، من بينها استخدام حواجز واقية مصنوعة من مواد عالية الكثافة مثل الرصاص للحد من تأثيرها[2،5].

يوضح الشكل (4.1) مدى اختراق الإشعاع المؤين لبعض المواد



الشكل (4.1): مدى اختراق الإشعاع المؤين لبعض المواد

3.1 الجرعات الإشعاعية و ووحدات قياسها:

تُعد وحدات القياس في مجال الإشعاع المؤين عنصرًا أساسيًا لفهم وتقدير تأثيراته على المواد والكائنات الحية. إذ تُستخدم هذه الوحدات لتحديد مقدار الإشعاع الممتص، وتقييم الأثر البيولوجي الناتج عن التعرض له، مما يساهم في ضبط الاستخدام الآمن للإشعاع في التطبيقات الطبية والصناعية. كما تساعد على تطبيق معايير الوقاية الإشعاعية ومراقبة الجرعات التي يتعرض لها العاملون والمرضى.

ونظرًا لتعدد هذه الوحدات، يتم عادةً تنظيمها ضمن تصنيفات رئيسية لتسهيل دراستها وفهمها، حيث يمكن تقسيمها إلى أربعة مجالات أساسية كما يوضحه الشكل(5.1).

الشكل (5.1): ملخص الوحدات المستخدمة في مجال قياس الإشعاع

1.3.1 الجرعات الإشعاعية:

الجرعة الإشعاعية هي أحد فروع العلوم النووية المتخصصة في تقدير وتكميم القياسات المتعلقة بالإشعاع، وما ينتج عنه من تأثيرات بيولوجية وكيميائية وتغيرات في المادة نتيجة كمية الإشعاع التي يُتعرض لها. تُعتبر هذه القياسات الهدف الرئيس لهذا الفرع من العلوم النووية. يمكن التمييز بين ثلاث أنواع من الجرعات الإشعاعية وهي:

2.3.1 جرعة التعرض للإشعاع:

تُمثل جرعة التعرّض مقدار الإشعاع الذي يصل إلى جسم معين أو إلى مادة ما، وهي تعتمد أساسًا على خصائص الإشعاع نفسه. وتُقاس هذه الجرعة بوحدة الرونتجن R و التي أُدخلت كوحدة من وحدات

قياس الإشعاع من قبل المؤتمر العام للإشعاع عام 1928م. بعد ذلك تم تعريف التعرض من قبل اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية على أنه كمية أشعة X أو أشعة غاما (نظرًا لارتباط هذه الوحدة بالإشعاعات الكهرومغناطيسية) القادرة على إحداث تأين في حجم $1cm^3$ من الهواء الجاف تحت شروط قياسية، بحيث تنتج شحنة كهربائية مقدارها $\frac{1}{3\times10^9}$ كولوم تُحدث تأينا. أما معدل جرعة التعرض فيُعبَّر عنه بوحدة الرونتجن في الساعة(R/h)، ويُستخدم لتحديد سرعة التعرّض للإشعاع مع الزمن.

3.3.1 جرعة الإشعاع الممتص:

تُعبّر الجرعة الممتصة عن مقدار الطاقة التي يكتسبها الوسط أو الجسم نتيجة تعرضه للإشعاع، وهي تعتمد على طبيعة التفاعل بين الإشعاع والمادة. وتشمل هذه الجرعة مختلف أنواع الإشعاعات المؤينة، وجميع أشكال التعرض، إضافة إلى تنوع الأوساط والأنظمة البيولوجية والهندسية.

وبصيغة مبسطة، تُعرّف الجرعة الممتصة $D(r_T)$ بأنها كمية الطاقة المنتقلة إلى وحدة الكتلة من المادة، مما يجعلها مؤشرًا أساسيًا لتقييم التأثيرات الفيزيائية للإشعاع[6]، ويُعبَّر عنها بالعلاقة التالية:

$$D(r_T)=\frac{\varepsilon(r_T)}{m(r_T)}$$

حيث r_T : منطقة الهدف

$\varepsilon(r_T)$: متوسط الطاقة المنقولة إلى منطقة الهدف

$m(r_T)$: كتلة الوسط الماص

تُقاس الجرعة الممتصة بوحدتي:

الراد rad: يُعرّف بأنه الجرعة التي يمتصها الجسم إذا امتص كل كيلوغرام واحد من الجسم طاقة مقدارها 0.01 جول.

تُقاس الجرعة الممتصة في نظام الوحدات الدولية بوحدة جول لكل كيلوغرام J/Kg ، و يُطلق عليها اسم غراي (Gy)، حيث: $1Gy=1J/kg$

الغراي Gr: وحدة حديثة منذ 1975 لقياس الجرعة الممتصة, و تُعرف بأنها الجرعة التي يمتصها الجسم عندما يمتص كل كيلوغرام منه طاقة مقدارها 1جول.

يمكن تلخيص ما سبق فيما يلي :

$$1\,rad=0.01J/k$$
$$1Gr=1J/k$$
$$1Gr=100\,rad$$

4.3.1 الجرعة المكافئة أو الفعالة:

تختلف أنواع الإشعاعات في قدرتها على إحداث أضرار بيولوجية داخل جسم الإنسان، حيث لا يكون تأثيرها متساويًا رغم تساوي الجرعة الممتصة. ولتقدير هذا الأثر على الأنسجة الحية، يُستخدم مفهوم الجرعة المكافئة أو الفعّالة، التي تأخذ بعين الاعتبار نوع الإشعاع ومدى تأثيره البيولوجي. ببساطة تُعتبر الجرعة الفعّالة مقياس يُعبّر عن التأثير البيولوجي الكلي للإشعاع على جسم الإنسان، من خلال مراعاة حساسية الأنسجة المختلفة ونوع الإشعاع المؤثر[6].

كانت هذه الجرعة تُقاس قديمًا بوحدة "الرم"، أما حاليًا فتُقاس بوحدة السيفرت (Sv). و هي الوحدة الدولية المستخدمة حاليًا و كلتاهما تقيسان التأثير البيولوجي للإشعاع على الجسم وليس فقط الطاقة الممتصة، حيث: $1SV = 100\,rem$

الجرعة المكافئة (الفعالة) بـ (رم) = الجرعة الممتصة (rad) × معامل التأثير الحيوي النسبي

5.3.1 التأثير الحيوي النسبي (RBE):

تُبيّن الجرعة الممتصة مقدار الطاقة التي يمتصها الجسم من الإشعاع، غير أن حجم الضرر الناتج لا يعتمد فقط على هذه الطاقة، بل يتأثر أيضًا بخصائص الإشعاع الفيزيائية ونوع الأنسجة المتعرّضة له. لذلك، يُستخدم مفهوم التأثير الحيوي النسبي لمقارنة الأثر البيولوجي لأنواع مختلفة من الإشعاع، وذلك بمقارنة الضرر الذي تُحدثه بإشعاع مرجعي معيّن، وغالبًا ما تُعتمد الأشعة السينية ذات طاقة $200\,KeV$ كمعيار للمقارنة.

يُقصد بالتأثير الحيوي النسبي لأي نوع من الإشعاع ذلك المقياس الذي يُعبّر عن مقارنة فعاليته البيولوجية بفعالية إشعاع مرجعي، حيث يُعرَّف بأنه حاصل قسمة الجرعة الممتصة من الأشعة السينية القياسية (بوحدة الراد) اللازمة لإحداث تأثير بيولوجي محدد، على الجرعة الممتصة من الإشعاع قيد الدراسة التي تُحدث التأثير البيولوجي نفسه.

$$\text{التأثير الحيوي النسبي (RBE) لأشعة ما} = \frac{\text{جرعة الأشعة X (راد) التي تُحدث ضرر معين}}{\text{جرعة هذه الأشعة (راد) اللازمة لإحداث نفس الضرر}}$$

الجدول أسفله يبين التأثير الحيوي النسبي لبعض الإشعاعات

الجدول(2.1): التأثير الحيوي النسبي لبعض الإشعاعات المؤينة

نوع الإشعاع	أشعة: غاما، بيتا، السينية	نيوترونات حرارية (طاقة منخفضة)	نيوترونات سريعة (طاقة عالية)	جسيمات ألفا
RBE	1	5 -2	10	20

6.3.1 الجرعة الإشعاعية القصوى المسموح بها:

أدّى التوسع في إنتاج النظائر المشعة الإصطناعية وتزايد استعمالها في مجالات متعددة إلى ارتفاع احتمال تعرض الأفراد للإشعاعات المؤينة، إلى جانب تعرضهم الدائم للإشعاعات الطبيعية. وتتباين الجرعات التي يتلقاها السكان، سواء من المصادر الطبيعية أو الصناعية، من منطقة إلى أخرى تبعًا لخصائص الصخور والتربة، وكذلك حجم إنتاج واستخدام المواد المشعة.

بوجه عام، فإن متوسط الجرعة الناتجة عن المصادر الطبيعية في أغلب مناطق العالم يبقى ضمن حدود $100\,m\,\mathrm{Re}m/ans$. ولتقليل المخاطر المرتبطة بالإشعاع والحد من آثاره السلبية، أُنشئت اللجنة العلمية التابعة للأمم المتحدة المعنية بدراسة تأثيرات الإشعاع الذري سنة 1955، حيث قامت بوضع معايير دولية لتنظيم التعرض الإشعاعي، وحددت الحد الأقصى المسموح به لعامة الناس بنحو 100 ملي رم/ أسبوع.

أما العاملون في مجال الإشعاعات المؤينة، فقد حُددت الجرعة القصوى المسموح بها سنويًا بـ :

20 ملي سيفرت (mSv) سنويًا كمعدل على 5 سنوات، مع شرط ألا تتجاوز 50 ملي سيفرت في سنة واحدة.

كما يمكن حساب الجرعة التراكمية اعتمادًا على العلاقة: $D = 5\,(N - 18)$ ، تربط بين عمر الفرد N والجرعة الإشعاعية الممتصة D المقاسة بوحدة (rem).

7.3.1 الجرعة الفعالة لكامل الجسم (E):

إن الجرعة الفعالة لكامل الجسم **E** هي مجموع الجرعات المكافئة الموزونة بعامل الإشعاع المرجح، مضروبة بالعامل المرجح للنسيج أو العضو[2]، وتُحدد بالعلاقة التالية:

$$E = H_{Ti} \times W_{Ti}$$

حيث أن:

H_{Ti} : هي الجرعة المكافئة في العضو أو النسيج.

W_{Ti} : هو العامل المرجح لذلك العضو أو النسيج.

يتم تقدير الجرعة الكلية بجمع الجرعات المكافئة الموزونة. تُعد الجرعة الفعالة بمثابة مؤشر لاحتمال إصابة الجسم بالأمراض العشوائية كالسرطان، .....

يُبين الجدول أسفله عامل النسيج المرجح W_{Ti} لبعض أعضاء الجسم.

الجدول(2.1): عامل النسيج المرجح W_{Ti} لبعض أعضاء الجسم

لعضو	عامل النسيج المرجح W_{Ti}
الغدد التناسلية	0.20
النخاع العظمي الأحمر, القولون, الرئتان, المعدة	0.12
المثانة, الصدر, الكبد, الأثني عشر, الغدد الدرقية	0.05
الجلد, سطح العظام	0.01
باقي الأعضاء	0.05
كامل الجسم	1

8.3.1 التعرض المهني للإشعاع:

يقصد بالتعرض المهني للإشعاع مقدار ما يتلقاه العامل من إشعاع خلال فترة عمله وبشكل مستمر. لذا فإنه سُنت مبادئ للوقاية و الحماية من هذا التعرض لكي لا يتجاوز الخطر الحد المسموح به.

يمكن تصنيف التعرض إلى مجالين؛ هما الممارسة المباشرة، و التدخلات:

1.8.3.1 الممارسات: هي مختلف الأنشطة التي يقوم بها الأفراد و التي تعرضهم بشكل مستمر للإشعاع من مصادره الطبيعية.

2.8.3.1 التدخلات: هي مجموع الإجراءات الوقائية والاحتياطات التي يتخذها الإنسان للحد من الزيادة في التعرض الإشعاعي الناتج بسبب الممارسات أو المصادر غير المتحكم فيها[3].

4.1 التفاعل المتبادل بين الإشعاعات المؤينة و المادة:

سنتاول في هذا الفصل التفاعل المتبادل بين الإشعاعات المؤينة و المادة، تنحصر الدراسة على التأثير الجهري. يختلف التأثير باختلاف نوع الإشعاع و طاقته لذا سنعرض كل نوع على حدة.

1.4.1 انتقال الطاقة بين الجسيمات الثقيلة و المادة:

عند سقوط الجسيمات الثقيلة المؤينة (مثل جسيمات ألفا، الديوتيرونات، والبروتونات) على المادة، تنتقل طاقتها إلى الوسط بشكل تدريجي إلى أن تفقد كامل طاقتها وتتوقف. يتم هذا الانتقال أساسًا عبر تصادمات غير مرنة مع إلكترونات ذرات المادة، مما يؤدي إلى إثارة هذه الذرات أو تأيينها. كما أن الإلكترونات الناتجة عن التأين الأولي تمتلك طاقة كافية لإحداث تأينات ثانوية إضافية داخل الوسط. وينتج عن كل عملية تأين تكوّن زوج مكوَّن من إلكترون حر وأيون موجب.

يمكن قياس العدد الكلي للأزواج (أيون–إلكترون) الناتجة عن التأين الأولي والثانوي باستخدام تقنيات تجريبية متعددة، مثل كواشف التأين وأجهزة القياس الإشعاعي المختلفة.

2.4.1 التفاعل المتبادل بين الالكترونات و المادة:

عندما تكون طاقة الإلكترونات الساقطة أقل من $0.5\ MeV$، فإنها تفقد طاقتها أساسًا عبر إثارة و تأيين إلكترونات ذرات الوسط، بطريقة مشابهة لتفاعل الجسيمات الثقيلة مع المادة، مع ملاحظة بعض الخصائص المميزة:

✓ تبلغ نسبة التأين الأولي الناتج عن الإلكترونات حوالي % 20 بينما يُعزى الجزء الأكبر إلى التأين الثانوي الناتج عن الإلكترونات المنبعثة.

✓ نظرًا لصغر كتلة الإلكترون مقارنةً بالجسيمات الثقيلة، فإنه يتحرك بسرعة عالية جدًا، مما يقلل من زمن تفاعله مع الذرات.

✓ أثناء تصادم الإلكترون الساقط مع إلكترونات الوسط، يمكن أن ينقل طاقة كبيرة قد تصل إلى نصف طاقته في تصادم واحد، مما يؤدي إلى تبعثر كبير مقارنةً بالجسيمات الثقيلة.

✓ نتيجةً لصغر كتلة الإلكترون فإنه سيتعرض لانحرافات متكررة خلال مساره، فيكون أثره داخل المادة على شكل مسار متعرج أو منكسر.

✓ عند ارتفاع طاقة الإلكترونات، لا يقتصر فقدان الطاقة على التصادمات غير المرنة، بل يحدث أيضًا فقدان على شكل إشعاع يُعرف بإشعاع الكبح، وهو الأساس الفيزيائي لإنتاج الأشعة السينية.

✓ أما البوزيترونات، فتفقد طاقتها بنفس الآليات السابقة. وعند نهاية مسارها، وبعد أن تفقد معظم طاقتها، تتفاعل مع إلكترون من الوسط فتحدث عملية فناء، ينتج عنها فوتونان من أشعة غاما متعاكسا الاتجاه، وهي ظاهرة تُعرف بفناء المادة.

3.4.1 التفاعل المتبادل بين أشعة غاما والمادة:

عند سقوط أشعة غاما على المادة، فإنها لا تفقد طاقتها بشكل مستمر كما هو الحال بالنسبة للجسيمات المشحونة، بل يتم انتقال طاقتها إلى الوسط عبر تفاعلات منفصلة. وتتمثل أهم هذه التفاعلات في ثلاث عمليات رئيسية:

1.3.4.1 الفعل الكهروضوئي (The photo electric effect):

تمتص الذرة فوتون أشعة غاما بشكل كامل(يفني هذا الفوتون)، مما يؤدي إلى تحرير إلكترون من أحد المدارات الداخلية للذرة يُدعى إلكترون كهروضوئي. وتكون طاقة الإلكترون المنبعث مساوية لطاقة الفوتون الساقط ناقص طاقة الارتباط.

2.3.4.1 تأثير كومبتون (Compton effect):

يتصادم فوتون أشعة غاما مع إلكترون حر أو ضعيف الارتباط، فيفقد جزءًا من طاقته وينحرف عن مساره، بينما يُقذف الإلكترون بطاقة حركية. ويُعد هذا التفاعل الأكثر شيوعًا في الطاقات المتوسطة.

3.3.4.1 إنتاج الزوج (The pair production):

عندما تكون طاقة فوتون أشعة غاما أكبر من $1.022\ MeV$، يمكن أن يتحول في مجال نواة الذرة إلى زوج من الجسيمات: إلكترون وبوزيترون. ويخضع البوزيترون لاحقًا لعملية فناء مع إلكترون، منتجًا فوتونين من أشعة غاما.

ويعتمد ظهور هذه التفاعلات على طاقة الفوتون الساقط والعدد الذري للمادة، حيث يسود التأثير الكهروضوئي عند الطاقات المنخفضة، وتأثير كومبتون عند الطاقات المتوسطة، بينما يصبح إنتاج الأزواج مهمًا عند الطاقات العالية.

4.4.1 التفاعل المتبادل بين النيوترونات والمادة:

يختلف التفاعل بين النيوترونات والمادة عن تفاعلات الجسيمات المشحونة، نظرًا لكون النيوترونات جسيمات متعادلة كهربائيًا، وبالتالي فهي لا تتأثر بالقوى الكهروستاتيكية داخل الذرة، بل تتفاعل مباشرة مع نوى الذرات. من أهم هذه التفاعلات[7]:

1.4.4.1 التشتت المرن:

تصطدم النيوترونات بالنواة دون أن يحدث تغير في بنيتها الداخلية، حيث تفقد جزءًا من طاقتها الحركية لصالح النواة. تُعد هذه العملية الأساس في ظاهرة التهدئة، خاصة في المواد الغنية بالهيدروجين حيث يتم تقليل طاقة النيوترونات السريعة وتحويلها إلى نيوترونات حرارية عبر تصادمات متكررة مع أنوية خفيفة مثل الهيدروجين في الماء.

2.4.4.1 التشتت غير المرن:

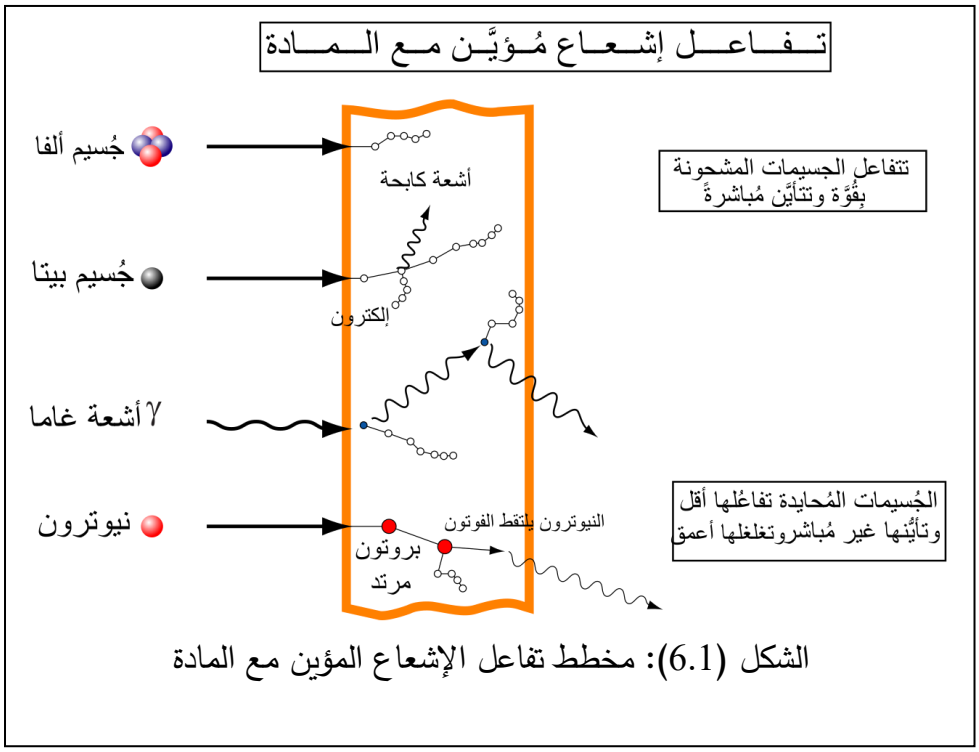
تتصادم النيوترونات مع النواة وتفقد جزءًا من طاقتها، مما يؤدي إلى إثارة النواة إلى مستوى طاقة أعلى، ثم تعود النواة إلى حالتها المستقرة بإصدار أشعة غاما.

3.4.4.1 الأسر النيوتروني:

تمتص النواة النيوترون لتكوّن نواة أثقل، وغالبًا ما تكون هذه النواة غير مستقرة، فتتحلل بإصدار إشعاعات (مثل أشعة غاما أو جسيمات بيتا). وفي بعض النوى الثقيلة، مثل اليورانيوم، قد يؤدي امتصاص النيوترون إلى حدوث الانشطار النووي.

تُعد هذه التفاعلات ذات أهمية كبيرة في التطبيقات النووية، خاصة في تشغيل المفاعلات النووية، وكذلك في مجالات الحماية من الإشعاع، حيث تُستخدم مواد خاصة لإبطاء وامتصاص النيوترونات.

يوضح الشكل (5.1) مخطط تفاعل الإشعاع المؤين مع المادة.



الشكل (6.1): مخطط تفاعل الإشعاع المؤين مع المادة

5.1 التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة

تُعرف الإشعاعات المؤينة بأنها أنواع من الإشعاع تمتلك طاقة كافية لإحداث تأيّن في الذرات والجزيئات، وتشمل مختلف الإشعاعات النووية مثل الجسيمات الثقيلة المشحونة، وجسيمات بيتا، إضافة إلى الأشعة السينية وأشعة غاما المنبعثة من الذرة أو نواتها، وكذلك النيوترونات. تتميز الجسيمات المشحونة الثقيلة وجسيمات بيتا (كالإلكترونات والبوزيترونات) بقدرتها على إحداث التأين بشكل مباشر أثناء مرورها في المادة نتيجة تفاعلها المباشر مع إلكتروناتها. في المقابل، فإن أشعة غاما والأشعة السينية لا تُحدث التأين مباشرة، بل تنقل طاقتها أولاً إلى إلكترونات الوسط عبر تفاعلات فيزيائية معروفة، مما يؤدي إلى انطلاق إلكترونات ثانوية تتولى بدورها عملية التأين، وبالتالي يحدث التأين بصورة غير مباشرة.

تنتقل طاقة النيوترونات إلى المادة من خلال عدة آليات، أهمها التشتت المرن وغير المرن مع أنوية الذرات، إضافة إلى عملية امتصاص النيوترونات خاصة ذات الطاقة المنخفضة (الحرارية). وبما أن أنسجة الكائنات الحية غنية بعنصر الهيدروجين، فإن النيوترونات تنقل جزءًا كبيرًا من طاقتها إلى أنوية الهيدروجين (البروتونات)، التي تصبح بدورها قادرة على إحداث التأين داخل الجسم. كما أن امتصاص النيوترونات من طرف أنوية الذرات يؤدي إلى تكوين أنوية جديدة غالبًا ما تكون غير مستقرة، وينتج عن ذلك انبعاث أشعة غاما، والتي تساهم بدورها في تأيين الذرات والجزيئات. لذلك تُعد النيوترونات من الإشعاعات المؤينة، رغم أن تأثيرها يحدث بشكل غير مباشر. وبغض النظر عن مصدر الإشعاع، سواء كان خارجيًا أو نتيجة تلوث داخلي بمواد مشعة، فإنه يمكن أن يُحدث تأثيرات بيولوجية على الكائن الحي،

قد تظهر لاحقًا في شكل أعراض سريرية. وتختلف شدة هذه التأثيرات وسرعة ظهورها تبعًا للجرعة الممتصة ومعدل التعرض لها.

يمكن تصنيف التأثيرات البيولوجية الناتجة عن الإشعاعات المؤينة في الكائنات الحية إلى فئتين رئيسيتين، وذلك حسب طبيعة الاستجابة الحيوية وشدة الضرر الذي تُحدثه هذه الإشعاعات داخل الجسم.

1.5.1 التأثيرات الجسدية (الذاتية): وهي تلك الأضرار أو التغيرات التي تحدث مباشرة في جسم الفرد نفسه نتيجة تعرضه للإشعاعات، حيث تنعكس آثارها على الأنسجة والأعضاء الخاصة به دون أن تنتقل إلى أفراد آخرين.

2.5.1 التأثيرات الوراثية: وهي التغيرات التي تظهر في نسل الفرد المتعرض للإشعاع، نتيجة حدوث أضرار في الخلايا أو الأنسجة التناسلية لديه، مما يؤدي إلى انتقال هذا الضرر إلى الأبناء أو الأجيال اللاحقة.

3.5.1 المسارات الحيوية لدخول المواد المشعة في جسم الإنسان:

تُعد دراسة فسيولوجيا جسم الإنسان أمرًا أساسيًا لفهم كيفية دخول المواد المشعة إلى الجسم وآلية انتشارها بين أعضائه المختلفة. حيث تلعب عدة أجهزة حيوية دورًا رئيسيًا في نقل هذه المواد وتوزيعها، من أبرزها الجهاز الدوري الذي ينقلها عبر الدم، والجهاز التنفسي الذي يسمح بدخولها عن طريق الاستنشاق، إضافة إلى الجهاز الهضمي الذي يُمكن أن تنتقل من خلاله نتيجة تناول مواد ملوثة.

1.3.5.1 الجهاز الدوري: The circulatory system

عبارة عن دارة مغلقة من الأنابيب ينتقل خلالها الدم من القلب إلى جميع أجزاء الجسم محملا بالأكسجين و الغذاء ثم يعود من هذه الأجزاء إلى القلب مرة أخرى حاملا معه ثاني أكسيد الكربون و الفضلات. يحتوي جسم الإنسان كامل النمو حوالي 5 لترات من الدم، تدور هذه الكمية في الجسم مرة كل حوالي دقيقة.

2.3.5.1 الجهاز التنفسي: The respiratory system

تتمثل وظيفته الأساسية في تزويد الجسم بالأكسجين الضروري لعمليات إنتاج الطاقة داخل الخلايا، والتخلص من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء الناتجين عن هذه العمليات. يحدث تبادل الغازات على مستوى الحويصلات الهوائية في الرئتين، حيث يتم انتقال الأكسجين إلى الدم وخروج ثاني أكسيد الكربون منه خلال الدورة الدموية الصغرى. يحتاج الإنسان البالغ إلى نحو 20 مترًا مكعبًا من الهواء يوميًا، ويُستهلك جزء كبير منه خلال فترات النشاط والعمل.

أثناء التنفس، قد يستنشق الإنسان مواد مختلفة موجودة في الهواء، سواء كانت غازات أو جسيمات عالقة (غبار). فالغازات يمكن أن تنتقل بسهولة إلى الدم بدرجات متفاوتة حسب قابليتها للذوبان، بينما قد تترسب الجسيمات الصلبة في الرئتين أو تُطرح مع هواء الزفير، أو تبقى في الجزء العلوي من الجهاز التنفسي ليتم ابتلاعها لاحقًا. ويعتمد مصير هذه المواد داخل الرئتين على درجة ذوبانها؛ فإذا كانت سريعة

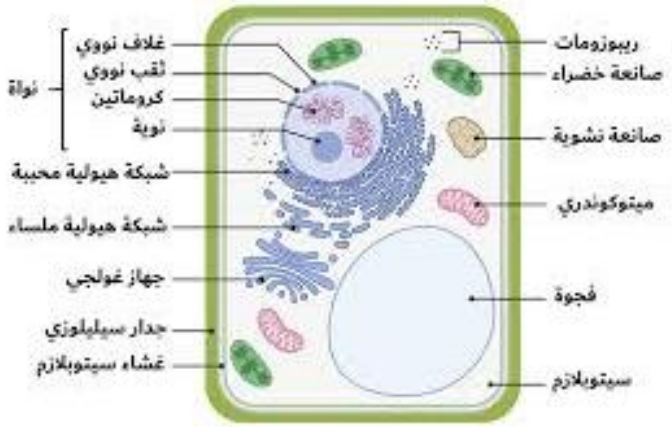
الذوبان تُمتص بسرعة وتنتقل عبر الدم، أما إذا كانت ضعيفة الذوبان فقد تبقى لفترات طويلة. لذلك يُعد الجهاز التنفسي من أهم المسارات التي تدخل عبرها المواد المشعة إلى الجسم، قبل أن تنتقل إلى الدورة الدموية ومنها إلى مختلف الأعضاء

3.3.5.1 الجهاز الهضمي: The digestive system

يدخل التلوث الإشعاعي إلى الجسم عبر الجهاز الهضمي عند ابتلاع مواد مشعة، حيث تسلك مسار الغذاء داخل القناة الهضمية. فإذا كانت هذه المواد قابلة للذوبان تُمتص وتنتقل عبر الدم إلى أعضاء مختلفة من الجسم، مثل السيزيوم–137 الذي يتركز في الأنسجة الرخوة والسترونشيوم–90 الذي يترسب في العظام. أما المواد غير القابلة للذوبان فتمر عبر الجهاز الهضمي دون امتصاص، لكنها قد تُعرّض أنسجته للإشعاع أثناء مرورها.

4.3.5.1 الخلية الحية: The cell

تُعدّ الخلية الوحدة الأساسية لبناء أنسجة وأعضاء الكائنات الحية، وتتكون من النواة والسيتوبلازم والغشاء الخلوي. ويُعتبر السيتوبلازم مركز التفاعلات الحيوية وإنتاج الطاقة داخل الخلية، بينما تمثل النواة مركز التحكم لاحتوائها على المادة الوراثية المسؤولة عن تنظيم وظائف الخلية وتكاثرها. الشكل(6.1) يوضح شكل تخطيطي لخلية حيوانية.



الشكل (7.1): شكل تخطيطي يمثل خلية حيوانية

تقوم الخلايا بعملية التكاثر بهدف الحفاظ على استمرارية النوع الحي وتعويض الخلايا التي تموت أو تتلف. ويختلف عمر الخلية في جسم الإنسان تبعًا لنوعها، وبالتالي يختلف معدل انقسامها، إذ قد يتراوح بين بضع ساعات وعدة سنوات حسب طبيعة الخلية ووظيفتها.

ويتم تكاثر الخلايا عادة بطريقتين رئيسيتين: الانقسام اللاجنسي (mitosois) والانقسام الجنسي (meiosis).

يحدث الانقسام اللاجنسي في خلايا الجسم الجسدية، حيث تتضاعف المادة الوراثية أولًا بشكل طولي، ثم تنقسم الخلية الأم إلى خليتين متماثلتين تمامًا من حيث التركيب والخصائص. أما الانقسام الجنسي فيرتبط بتكوين الخلايا التناسلية، حيث يحدث عند اتحاد الحيوان المنوي مع البويضة، فتندمج مادتهما الوراثية لتشكيل خلية جديدة تحتوي على مزيج من الجينات الموروثة من كلا الأبوين، وتُعرف هذه الخلية باسم البويضة المخصبة.

4.5.1 تفاعل الإشعاعات المؤينة مع الخلية: Interaction of the ionizing radiation with the cell

تؤدي الإشعاعات المؤينة إلى تأين مكونات الخلية، خاصة الماء، مما يسبب تلفًا خلويًا قد ينتج عنه أمراض إشعاعية، وإعتام عدسة العين، وبعض أنواع السرطان على المدى البعيد.

1.4.5.1 المرحلة الفيزيائية The physical stage

تحدث هذه المرحلة في زمن قصير جدًا (حوالي $10^{-16}s$) مباشرة بعد دخول الإشعاع أو الجسيمات المؤينة إلى الخلية. وخلالها يتم انتقال طاقة الإشعاع إلى جزيئات الماء الموجودة داخل الخلية، مما يؤدي إلى حدوث عملية التأين بشكل فوري. وتُعد هذه المرحلة الأساس الذي تنطلق منه باقي التغيرات الفيزيائية والكيميائية داخل الوسط الخلوي نتيجة التفاعل الإشعاعي، وفق معادلة التفاعل التالي:

$$Photon\ or\ particle\ + H_2O \rightarrow\ H_2O^+ + e^-$$

حيث: H_2O^+ أيون الماء الموجب، e^- الإلكترون السالب.

2.4.5.1 المرحلة الفيزيوكيميائية: The physico-chemical stage

تحدث هذه المرحلة خلال زمن قصير جدًا يُقدّر بحوالي ($10^{-16}s$) بعد مرحلة التأين، حيث تبدأ النواتج الأولية من الأيونات والجذور الحرة في التفاعل مع جزيئات الماء داخل الخلية. تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين مركبات كيميائية نشطة ذات قدرة عالية على إحداث تغيرات بيولوجية لاحقة. من بين هذه التفاعلات، يمكن لأيون الماء الموجب أن يتحلل ليعطي أيون هيدروجين موجب H^+ وجذر هيدروكسيل متعادل OH، وفق المعادلة التالية:

$$H_2O^+ \rightarrow\ \ OH +\ H^+$$

أما الإلكترون السالب e^- فيمكن أن يتحد مع جزيء ماء متعادل مكونا بذلك أيون ماء سالب:

$$e^- +\ H_2O \rightarrow H_2O^-$$

ثم يتحل هذا الأيون الأخير H_2O^- معطياً ذرة هيدروجين وأيون هيدروكسيد سالب وفقا للمعادلة:

$$H_2O^- \rightarrow\ \ H + OH^-$$

وهكذا، تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين عدة نواتج كيميائية نشطة من بينها:

أيون هيدروجين موجب H^+

أيون هيدروكسيد سالب OH^-

ذرة هيدروجين متعادلة H

جزيء هيدروكسيد متعادل OH

تجدر الإشارة إلى أن أيونات الهيدروجين H^+ والهيدروكسيد OH^- توجد بشكل طبيعي في الماء، وغالبًا لا يكون لها دور مباشر في التفاعلات اللاحقة المرتبطة بالتأثير الإشعاعي. في المقابل تُعد ذرة الهيدروجين H وجذر الهيدروكسيل OH من الجذور الحرة شديدة النشاط الكيميائي، حيث تمتلك قدرة كبيرة على التفاعل مع المكونات الحيوية داخل الخلية. كما يمكن أن يتكون ناتج آخر مهم يتمثل في فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، والذي يُعتبر عاملًا مؤكسدًا قويًا، وينتج ذلك وفق التفاعل التالي:

$$OH + OH \rightarrow H_2O_2$$

3.4.5.1 المرحلة الكيميائية: The chemical stage

تستغرق هذه المرحلة زمنًا أطول نسبيًا مقارنة بالمراحل السابقة، حيث تمتد من عدة ثوانٍ إلى دقائق بعد حدوث التفاعلات الفيزيوكيميائية. خلال هذه المرحلة تتفاعل النواتج النشطة المتكوّنة سابقًا، مثل ذرة الهيدروجين H، وجذر الهيدروكسيل OH، وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، مع الجزيئات العضوية المختلفة داخل الخلية. وتشمل هذه الجزيئات البروتينات، والدهون، والأحماض النووية، خاصة المادة الوراثية DNA. إذ يمكن لهذه النواتج أن ترتبط مع هذه الجزيئات أو تُحدث تكسيرًا في بنيتها، خصوصًا في السلاسل الطويلة للكروموسومات، مما يؤدي إلى تغيّرات جزيئية قد تمس التركيب الجيني. وتُعدّ هذه التغيرات في الـ DNA ذات أهمية كبيرة، لأنها تمثل الأساس للتأثيرات البيولوجية طويلة المدى للإشعاع على الكائن الحي، مثل الطفرات الوراثية أو اضطراب وظائف الخلية[8].

4.4.5.1 المرحلة البيولوجية: The biological stage

تمتد هذه المرحلة على مدى زمني واسع، يبدأ من عدة دقائق بعد التعرض للإشعاع وقد يستمر إلى سنوات أو حتى عقود، وذلك حسب طبيعة الضرر وشدته. في هذه المرحلة، تبدأ النتائج الفعلية للتغيرات الكيميائية السابقة في الظهور على مستوى الخلية والأنسجة. ومن أبرز هذه التأثيرات: موت الخلية نتيجة تلف مكوناتها الحيوية، أو حدوث اضطراب في عملية انقسامها بحيث يتأخر أو يتوقف، وقد يحدث أحيانًا زيادة غير طبيعية في معدل الانقسام. كما يمكن أن تؤدي هذه التغيرات إلى حدوث طفرات دائمة في المادة الوراثية، تنتقل إلى الخلايا الناتجة عن الانقسام، مما قد يسبب تأثيرات وراثية أو أمراضًا مزمنة على المدى الطويل.

نخلص إلى أن التأثيرات الأساسية للإشعاع على الإنسان والكائنات الحية تتمثل في إتلاف خلايا الجسم بدرجات متفاوتة حسب نوع وجرعة الإشعاع. وقد تظهر هذه التأثيرات على نفس الشخص المتعرض، وتُعرف في هذه الحالة بالتأثيرات الذاتية (Somatic effects)، حيث تصيب أنسجة وأعضاء الجسم المختلفة. كما يمكن أن تمتد هذه التأثيرات إلى الأبناء أو الأجيال اللاحقة، وتُعرف حينها بالتأثيرات

الوراثية (Hereditary effects)، والتي تنتج أساسًا عن تلف الخلايا التناسلية نتيجة التعرض للإشعاعات المؤينة، مما يؤدي إلى حدوث تغيّرات في المادة الوراثية يمكن أن تنتقل عبر الأجيال.

5.5.1 التأثيرات الحتمية والعشوائية للإشعاعات المؤينة: The deterministic and stochastic effects

1.5.5.1 التأثيرات الحتمية للإشعاعات: The deterministic effects

التأثيرات الحتمية للإشعاعات هي أضرار ناتجة عن التعرض لجرعات مرتفعة تؤدي إلى تدمير عدد كبير من خلايا الأنسجة، ما يسبب خللاً أو فقداناً لوظيفة العضو. لا تظهر عند الجرعات المنخفضة وتبدأ بعد تجاوز عتبة معينة، وقد تؤدي الجرعات العالية جداً إلى تلف شديد في الأمعاء وانتهائها بالوفاة في الحالات القصوى. من أمثلة التأثيرات الحتمية:

أ. مرض الإشعاع:

عند التعرض لمستويات عالية جدًا من الإشعاع خلال فترة زمنية قصيرة تظهر متلازمة الإشعاع الحادة، أو ما يُعرف باسم "مرض الإشعاع"؛ و من أعراضه الغثيان والقيء في غضون ساعات، وقد يؤدي أحيانًا إلى الوفاة خلال الأيام أو الأسابيع التالية[8]

ب. مرض إعتام عدسة العين: وهو معروف باسم المياه البيضاء أو الكتراكت(Cataract.

ج. الإريثيما(erythema):

عبارة عن احمرار يصيب الجلد؛ فالجلد معرض للإشعاعات أكثر من أي نسيج آخر في الجسم خصوصا بالنسبة لأشعة X ذات الطاقة المنخفضة وللالكترونات. إن التعرض لجرعة مقدارها حوالي 3 غراي من الأشعة السينية ذات الطاقة المنخفضة يؤدي إلى إحداث مرض الإريثيما، وعند زيادة الجرعة يمكن أن تظهر أعراض أخرى كالحروق والتقيحات وغيرها.

د. تلف الجهاز المركزي العصبي(CNS):

لا توجد بيانات كافية لتحديد الجرعة التي يبدأ عندها تلف الجهاز العصبي المركزي لدى الإنسان، لكن التجارب على الحيوانات أظهرت أن الجرعات العالية جدًا (أكثر من 30 غراي) قد تسبب أضرارًا خطيرة. وعادة تكون الجرعات الناتجة عن الاستخدامات الطبية والصناعية منخفضة وآمنة عند الالتزام بإجراءات الوقاية، بينما قد تحدث الجرعات الخطرة في حالات الحوادث الإشعاعية. أما الجرعات الصغيرة المتكررة فقد تؤدي إلى تأثيرات ضارة متأخرة على المدى البعيد.

هـ. التأثيرات المتأخرة(السرطان):

تؤكد الدراسات أن التعرض للإشعاعات المؤينة بجرعات مرتفعة قد يزيد من خطر الإصابة ببعض أنواع السرطان، خاصة لدى العاملين في مجال الأشعة والمرضى المعالجين إشعاعيًا. وينتج السرطان عن انقسام غير طبيعي للخلايا بسبب تلف آليات التحكم فيها. كما أن تحديد زمن ظهور السرطان الإشعاعي أمر معقد، إلا أن بعض الإحصائيات تشير إلى إمكانية ظهوره بعد مدة تتراوح بين 5 و30 سنة من

التعرض. لذلك تُعدّ جميع الجرعات الإشعاعية، مهما كانت صغيرة، ذات احتمال محتمل لإحداث تأثيرات سرطانية على المدى البعيد.

6.1 الحماية (الوقاية) من الإشعاع:

1.6.1 مقدمة:

يوجد في أذهان الناس مفاهيم متضاربة عن الإشعاع؛ لدى البعض خوف مفرط من الإشعاع، بينما البعض الآخر يجهل كليا مخاطر الإشعاع. لذا يجب أن نسعى للحصول على توازن بين الطرفين فالخوف المفرط يؤدي إلى عوائق في العمل، بينما يؤدي الجهل إلى الحوادث.

2.6.1 ماذا يعني بالحماية من الإشعاع؟

المبادئ والتشريعات المتبعة في الحماية من الإشعاع المؤين متفق عليها في جميع أنحاء العالم إذ تقوم الجهات الوطنية و الدولية بعمل الرقابة على الأنشطة المرتبطة بالإشعاع وذلك لإبقاء التعرض للإشعاع عند الحد الأدنى. وهو ما يعرف باللغة الأنجليزية: As Low as Reasonably Achievable و اختصاراً: ALARA.

3.6.1 المبادئ الأساسية الثلاثة للممارسة الإشعاعية:

وتُعرف أحياناً بمعايير الحماية من الإشعاع. تستند المبادئ الأساسية للحماية من الإشعاع في سياقها الطبي إلى ثلاثة عناصر رئيسية نصت عليها الوكالة الدولية للطاقة الذرية(IAEA) و اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع (ICRP)، و التعليمات العامة للحماية من الإشعاعات المؤينة في معظم الدول، هذه المعايير هي:

1.3.6.1 التبرير(الفوائد تفوق الأضرار):

لا يجوز القيام بأي إجراء يتضمن تعرضًا إشعاعياً ما لم يكن ذلك مُبَرَراً طبيا وذو فائدة سريرية واضحة للمريض، ويتطلب ذلك تقييماً دقيقاً للحالة، وموازنة بين الفوائد المرجوة والمخاطر المحتملة. كما ينبغي الأخذ بعين الاعتبار إمكانية استخدام بدائل غير إشعاعية مثل التصوير بالموجات فوق الصوتية أو التصوير بالرنين المغناطيسي متى ما توفرت.

2.3.6.1 التحسين (مبدأ ALARA): الإكتفاء بأقل أشعة تفي بالمطلوب

ويعرف هذا المبدأ اختصارا بـ (ALARA) أي "As Low As ReasonablyAchievable"، وهو يهدف إلى تقليص الجرعة الإشعاعية إلى أقل مستوى ممكن عملياً شريطة عدم التأثير على الغرض الطبي من الإجراء. يشمل ذلك ضبط إعدادات الأجهزة، اختيار التقنية المناسبة، التدريب المستمر للعاملين، وتحسين بروتوكولات التصوير أو العلاج بما يتناسب مع كل حالة سريرية.

3.3.6.1 حدود الجرعات: (عدم تجاوز الحد الأقصى المسموح به للجرعات الإشعاعية)

يطبق هذا المبدأ بصورة أساسية على العاملين في المجال الإشعاعي وليس على المرضى. إذ يتم تحديد حدود سنوية للجرعات المهنية وفقا للتوصيات الدولية، من أجل الحفاظ على سلامة العاملين وضمان عدم تجاوزهم للحدود المسموح بها[9].

4.6.1 العوامل الأساسية للحماية:

إن الإشعاع المؤين يمكن أن يكون ذو تأثيرات جسدية أو وراثية، و تتعلق هذه التأثيرات بنوع، شدة، و طاقة الإشعاع. للوقاية و التخفيف من تأثيرات الإشعاع المؤين وجب الالتزام بثلاث عوامل:

1.4.6.1 الزمن:

إن تقليل زمن التعرض للإشعاعات المؤينة يؤدي إلى تقليل الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الأفراد. إن الجرعة المتراكمة في جسم الإنسان تتناسب طرديا مع الزمن، لذا فإن أبسط أساليب الوقاية من الإشعاع هو قضاء أقل مدة زمنية ممكنة في الأماكن التي تتواجد فيها الأشعة المؤينة، وعدم تجاوز الجرعة الإشعاعية في الظروف الاعتيادية للعاملين عن الجرعة المسموح بها.

2.4.6.1 المسافة:

يقل التعرض الإشعاعي بزيادة المسافة بين المصدر المشع و نقطة تواجد جسم ما بحسب قانون تربيع العكسي.

3.4.6.1 الدروع:

تُعد الدروع من أهم وسائل الحماية من الإشعاع؛ لأن الإعتماد على عاملي الزمن و المسافة يتطلب تفرغ مسؤول الوقاية من الإشعاع بصورة مستمرة على رأس العمل، حتى لا يتجاوز العاملون الجرعة المقررة. يتوقف نوع مادة الدرع و سمكه على نوع الإشعاع و طاقته، كما يتعلق بمعدل الجرعة المقررة خارج الدرع [2].

5.6.1 القوانين والتوصيات الدولية:(IAEA, ICRP)

1.5.6.1 الوكالة الدولية للطاقة الذرية(IAEA)**:**

تُعدّ الوكالة الدولية للطاقة الذرية منظمة دولية تُعنى بتعزيز التعاون في المجال النووي، وقد تأسست عام 1957 في إطار مبادرة "الذرة من أجل السلام"، وتتخذ من فيينا مقرًا لها، تعمل مع الدول الأعضاء و العديد من الشركاء في جميع أنحاء العالم لتعزيز التقنيات النووية الآمنة و المأمونة و السلمية، بهدف دعم الاستخدامات السلمية للطاقة النووية والحد من انتشار الأسلحة النووية[10].

تعمل الوكالة على وضع معايير السلامة الإشعاعية ومراقبة الأنشطة النووية لضمان استخدامها السلمي، إضافة إلى تقديم الدعم الفني والتدريب في مجالات الطب والصناعة والزراعة. كما تسهم في حماية الإنسان والبيئة من أخطار الإشعاع عبر برامج التفتيش والتقييم المستمر للمنشآت النووية.

2.5.6.1 اللجنة الدولية للحماية من الاشعاع: ICRP

تُعدّ اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع المؤين الهيئة العلمية المرجعية في مجال الحماية من الإشعاع، وهي منظمة دولية مستقلة غير حكومية ذات طابع علمي. تم إنشاء اللجنة عقب المؤتمر الدولي للتصوير الإشعاعي والذي عقد عام 1928 بهدف المضي قدما في اتجاه الاستخدام الأمثل لعلم الوقاية الإشعاعية، من أجل المصلحة العامة.

تقدم اللجنة توصيات وإرشادات علمية تتعلق بالوقاية من المخاطر الناجمة عن التعرض للإشعاع المؤين، وتشمل مختلف المجالات مثل الاستخدامات الطبية، الصناعية، والأنشطة النووية. كما تستند مصداقية اللجنة إلى الكفاءة العلمية لأعضائها وخبرتهم الطويلة، حيث تُعد توصياتها الأساس الذي تعتمد عليه الهيئات الدولية مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية في وضع معايير الأمان الإشعاعي. تنبع سلطة ICRP من أهليتها والتوجه العلمي لأعضائها لأكثر من 50 عاماً[11].

3.5.6.1 دور اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع

- ✓ وضع الأسس العلمية للحماية من الإشعاع.
- ✓ تحديد المبادئ الأساسية: التبرير، التحسين (ALARA)، تحديد الجرعات
- ✓ اقتراح حدود الجرعات للعاملين والجمهور.

4.5.6.1 دور الوكالة الدولية للطاقة الذرية

- ✓ تحويل توصيات ICRP إلى معايير دولية تطبيقية .
- ✓ إصدار معايير الأمان الأساسية (BSS)
- ✓ دعم الدول في وضع التشريعات الوطنية.
- ✓ تقديم التدريب والمساعدة التقنية.

رغم تباين المنظمتين إلا أن التكامل بين الهيئتين قائم؛ فتعتبر ICRP مرجع علمي نظري، بينما IAEA جهة تنظيمية تطبيقية و الهدف المشترك بينهما حماية الإنسان والبيئة من مخاطر الإشعاع.

5.5.6.1 توصيات ICRP:

أنظمة الوقاية من الإشعاع لأغلب الدول تعتمد على توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP، تتلخص التوصيات في النقاط الرئيسية التالية[9]:

- ✓ لا ينبغي ممارسة أي عمل لا تعطى محصلته فائدة.
- ✓ كل التعرضات الإشعاعية يجب أن تخفض إلى أقل قيمة معقولة مع الأخذ في الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية.

- ✓ الجرعة المكافئة للأفراد يجب أن لا تتجاوز الحدود الموصى بها من قبل اللجنة.

مقاييس الوقاية من الإشعاع في كل دولة ترتكز على توصيات ICRP لفئة الجمهور والمهنيين؛ حيث توصي بأن أقصى جرعة مسموحة للتعرض المهني: هي 20 ملي سيفرت/عام، كمتوسط خمس سنوات 100 مللي سيفرت ولا تتجاوز 50 ملي سيفرت في العام الواحد.

أما تعرض فئة الجمهور(عامة الناس) فُحدد بـــ: 1 ملي سيفرت/عام كأقصى جرعة مسموحة، ويسمح بتجاوز ذلك في ظروف خاصة بشرط ألا يتعدى المتوسط طويل المدى. مع الملاحظة أن المقادير المذكورة في كلا الفئتين فوق مستوى الخلفية ولا تشمل أيضاً التعرض الطبي [12]

يتم ضمان الامتثال لهذه الحدود من خلال استخدام أجهزة قياس الجرعات الشخصية مثل: TLDs, badges، وهي أجهزة صغيرة تُرتدى على الجسم (عادة على الصدر أو الخصر) لقياس الجرعة الإشعاعية الممتصة التي يتعرض لها الفرد خلال فترة زمنية معينة. كما يجب إجراء تقييمات دورية لبيئة العمل، وتطبيق إجراءات رقابية دقيقة على مصادر الإشعاع واستخدامها.

إن نشر ثقافة الحماية من الإشعاع في القطاع الطبي لا يجب أن ينظر إليه كواجب تنظيمي فقط، بل كجزء من جودة الرعاية الصحية وكأحد مؤشرات التميز المؤسسي. فالسلامة ليست عبئا إضافيا، بل هي عنصر جوهري في كل بيئة عمل مسؤولة[5].

مراجع الفصل الأول

[1] S. Hameed, Q. Ali, R. Ali Ass, " Assessment of Ionizing Radiation Protection Awareness among Radiation Workers in Erbil Hospitals", Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences Issue (3), Volume 1 September(2017), ISSN: 2518-5780

[2] خالد هادي مهدي وآخرون، "دليل المصادر الإشعاعية للعامين"، 2015–2016، دائرة البحث والتطوير، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، العراق، 2016

[3] مصطفى محمد عبد المهدي المجالي، "الوقاية الإشعاعية: المبادئ والتطبيقات"، عمّان، الأردن، الدار المتقدمة للنشر والتوزيع

[4] محمد فاروق أحمد، وأحمد بن محمد السريع، "*مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية* منها"، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية، 2007

[5] إيمان مطر الشمري، جيهان مطر الشمري، "الطب النووي"، الطبعة الأولى، 2016، المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية(ACMLS)، ردمك: 978–99966–34–96–3.

[6] J. E. Turner, "Atoms, Radiation, and Radiation Protection", 3rd ed, Wiley-VCH, 2007.

[7] محمد شرعبي، التفاعل المتبادل بين الإشعاع و المادة، موقع أفريد في الفيزياء، 2023

[8] A. Schmitt-Hannig, "Ionisierende Strahlung". Federal Office for Radiation Protection (Bundesamt für Strahlenschutz), 2011

[9] رشا بن محمد الشبيلي، "الحماية من الإشعاع"، مستشفى الملك فهد الجامعي، جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل، 2022.

[10] D. Fischer, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards", International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria, 2014

[11] محمد أحمد جمعة، "اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية"، دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان، 2011.

[12] بيداء يحيى محمد، "أشعة ألفا وبيتا وغاما"، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة بابل، العراق، 2022.

الفصل الثاني

تقنيات العلاج الإشعاعي و الأجهزة المستخدمة

الفصل الثاني: تقنيات العلاج الإشعاعي و الأجهزة المستخدمة

1.2 مقدمة

تتعرض معظم الكائنات الحية بشكل مستمر للإشعاع من مصادر طبيعية، مثل الأشعة الكونية والعناصر المشعة الموجودة في البيئة. وقد ظل الإنسان عبر العصور يتعرض لهذه الإشعاعات دون إدراك دقيق لطبيعة تأثيراتها البيولوجية. ومع التقدم العلمي والتكنولوجي، تم تطوير العديد من المصادر الإشعاعية الاصطناعية التي تُستخدم على نطاق واسع في المجالات الطبية والصناعية والبحثية، لا سيما في مجال العلاج الإشعاعي.

رغم الأهمية الكبيرة لهذه التطبيقات، إلا أن استخدامها قد يرافقه مخاطر محتملة على الإنسان والبيئة في حال عدم التحكم فيها بشكل آمن. ومن هنا برزت الحاجة إلى وضع أنظمة فعّالة للحماية من الإشعاع، تعتمد على أسس علمية وتقنيات حديثة، بهدف تقليل التعرض الإشعاعي وضمان سلامة المرضى والعاملين على حد سواء[1].

2.2 تقنيات العلاج بالأشعة:

يُعتبر العلاج الإشعاعي من أهم تطبيقات الإشعاع المؤين في المجال الطبي، حيث يُستخدم الإشعاع بهدف معالجة الأورام السرطانية. تعتمد هذه التقنية على امتصاص طاقة الإشعاع داخل الأنسجة المصابة، مما يؤدي إلى تأين الذرات والجزيئات المكونة للخلايا السرطانية، وبالتالي إحداث تلف في مادتها الوراثية. يتم القضاء على هذه الخلايا إما بشكل مباشر نتيجة تأثير الإشعاع، أو بشكل غير مباشر عبر تكوين جذور حرة تُحدث أضرارًا بيولوجية داخل الخلية.

تتطلب هذه العملية استخدام طاقات إشعاعية مناسبة تسمح بالقضاء على أكبر عدد ممكن من الخلايا المصابة، بهدف تحقيق الشفاء التام أو تقليص حجم الورم والحد من انتشاره. تشمل أنواع الإشعاع المؤين المستخدمة في العلاج الإشعاعي جسيمات مثل جسيمات ألفا، بيتا، النيوترونات، إضافة إلى الإشعاعات الكهرومغناطيسية كالأشعة السينية وأشعة غاما.

تتعدد تقنيات العلاج الإشعاعي باختلاف نوع الإشعاع المستخدم وطريقة توجيهه، بما يحقق أفضل فعالية علاجية مع تقليل الأضرار على الأنسجة السليمة.

3.2 أنواع العلاج الإشعاعي: (خارجي، داخلي، إلكترونيات، بروتونات....)

في العلاج الإشعاعي، يعتمد اختيار نوع الإشعاع وطاقته بشكل أساسي على طريقة العلاج والهدف منه. فقد يُستخدم الإشعاع إما من خارج الجسم أو من داخله، كما تختلف الجرعة الإشعاعية تبعًا للغاية العلاجية. ففي الحالات التي يكون الهدف فيها القضاء التام على الورم، تُستخدم جرعات إشعاعية مرتفعة ومركّزة. أما في الحالات التي يكون الهدف فيها تخفيف الأعراض أو الحد من انتشار المرض، فلا يكون من الضروري استخدام جرعات عالية، بل تُضبط الجرعة بما يحقق راحة المريض ويقلل من المضاعفات، ومنها تخفيف الآلام الناتجة عن المرض.

يتم العلاج الإشعاعي عادةً بثلاث طرق تختلف باختلاف طريقة إيصال الإشعاع إلى الجسم؛ إما علاج إشعاعي خارجي حيث يُسلَّط الإشعاع من جهاز خارجي مثل المسرّع الخطي ولا يتم إدخال أي مادة مشعة إلى الجسم، وبالتالي فالمصدر المشع يكون خارج الجسم. أو من خلال إدخال مصدر مشع داخل الجسم يتم وضعه داخل الورم أو بالقرب منه، وتُعرف هذه التقنية بالعلاج الإشعاعي الداخلي أو موضعي(عن قرب). أما الصنف الثالث فيسمى العلاج الإشعاعي الجهازي فتُستعمل فيه نويدات مشعة تدخل إلى الجسم وتنتشر عبر الدم، ثم تستهدف الخلايا السرطانية من الداخل.

تُستعمل في هذه العلاجات أنواع مختلفة من الإشعاع، مثل الأشعة السينية وأشعة غاما على نطاق واسع، إضافة إلى جسيمات بيتا والإلكترونات، كما يُستخدم في نقاط محدود إشعاع البروتونات أو النيوترونات لما لها من خصائص فيزيائية مميزة تساعد على تحسين دقة العلاج وتقليل الضرر على الأنسجة السليمة[1].

1.3.2 العلاج الإشعاعي الخارجي(EBRT):

يُعدّ العلاج الإشعاعي بالحزمة الخارجية (EBRT)، إختصارا لعبارة: External Beam Radiotherapy أحد أكثر تقنيات العلاج الإشعاعي استخدامًا، حيث يتم فيه توجيه حزمة من الإشعاع المؤين إلى الورم من مصدر يقع خارج جسم المريض. عادة ما يُولَّد هذا الإشعاع بواسطة جهاز يُعرف بالمُعجِّل الخطي Linear Accelerator (LINAC).

تُوجَّه الحزمة الإشعاعية بدقة عالية نحو الورم، مع الحرص على تقليل تعرض الأنسجة السليمة المحيطة. فعلى سبيل المثال، في حالات سرطان الرئة، يتم تركيز الإشعاع على منطقة الصدر المصابة دون تعريض كامل الجسم للإشعاع. يُعتبر هذا النوع الأكثر شيوعًا بين تقنيات العلاج الإشعاعي المستخدمة في علاج الأورام. يشمل العلاج الإشعاعي بالحزمة الخارجية عدة تقنيات، تختلف باختلاف طريقة توجيه الحزمة ودرجة التحكم في توزيع الجرعةالإشعاعية، فنجد منه:

1.1.3.2 العلاج بالإلكترونات (EBT):

يُعرف العلاج بالإلكترونات (Electron Beam Therapy) بأنه أحد أشكال العلاج الإشعاعي بالحزمة الخارجية، حيث تُستخدم حزم من الإلكترونات عالية الطاقة لمعالجة الأورام. ويُستخدم غالبًا لعلاج الأورام السطحية أو القريبة من سطح الجسم، مثل سرطانات الجلد، وذلك بسبب القدرة المحدودة للإلكترونات على اختراق الأنسجة مقارنةً بالإشعاعات الكهرومغناطيسية كالأشعة السينية و أشعة غاما.

ما يميز حزم الإلكترونات تباطؤ معظم طاقتها عند عمق محدد، مما يسمح بحماية الأنسجة العميقة وتقليل الجرعة الممتصة خارج منطقة العلاج.

2.1.3.2 العلاج الإشعاعي ثلاثي الأبعاد المطابق 3D-CRT:

يُعتبر العلاج الإشعاعي ثلاثي الأبعاد المطابق 3D-CRT (Three-Dimensional Conformal Radiotherapy) من التقنيات المتقدمة في العلاج الإشعاعي، فهو يُوفر تصميم الحزمة الإشعاعية بما يتوافق مع الشكل الهندسي للورم.

في البداية يُجري أخصائي العلاج الإشعاعي فحصًا بالأشعة المقطعية (Computed CT Tomography) للمنطقة المراد علاجها للحصول على صور دقيقة ثلاثية الأبعاد. تُحمّل هذه الصور في جهاز كمبيوتر خاص وتُستخدم لإنشاء خطة علاج إشعاعي متخصصة، حيث تُحدد بدقة اتجاهات الحزم الإشعاعية و أشكالها. يهدف هذا التخطيط إلى توجيه الإشعاع بحيث يتطابق بشكل وثيق مع حجم وشكل الورم، مما يؤدي لتقليل الجرعة الممتصة في الأنسجة المحيطة.

3.1.3.2 العلاج الإشعاعي المعدّل الشدة (IMRT):

يُصنف العلاج الإشعاعي المعدل الشدة IMRT (Intensity-Modulated Radiation Therapy) تقنية متقدمة في العلاج الإشعاعي، فيُعتبر تطورًا لتقنية العلاج الإشعاعي ثلاثي الأبعاد المطابق. يعتمد على أنظمة حاسوبية لتخطيط العلاج وإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق للورم والأنسجة المحيطة. تسمح هذه التقنية بالتحكم في شدة الأشعة داخل الحزمة الواحدة، بحيث لا تكون الجرعة متساوية، بل تتغير من نقطة إلى أخرى داخل الورم، يتم تشكيل حزم الإشعاع بحيث تتطابق بدقة مع شكل الورم. مما يساهم في توجيه جرعة مرتفعة إلى الورم مع تقليل الجرعات الواصلة إلى الأنسجة السليمة المجاورة إلى أدنى حد ممكن.

4.1.3.2 العلاج الإشعاعي أثناء الجراحة (IORT):

يُستخدم العلاج الإشعاعي أثناء الجراحة IORT (Intraoperative Radiation Therapy) في الحالات التي يتعذّر فيها الاستئصال الجراحي الكامل للورم، خاصة في منطقتي الحوض والبطن، نتيجة التصاقه

بالأعضاء الحيوية أو الأعصاب. كما يُلجأ إليه في حال الاشتباه بوجود خلايا سرطانية متبقية بعد الاستئصال الجراحي.

خلال هذا الإجراء، يقوم الجراح بإزاحة الأنسجة والأعضاء السليمة بعيدًا عن مجال الإشعاع أثناء العملية الجراحية، بهدف حمايتها من التعرض غير الضروري. بعدها يُوجَّه إشعاع عالي الطاقة مباشرة إلى موضع الورم باستخدام أجهزة متخصصة مثل جهاز الموبيترون (Mobetron) ، المزوّد بمخروط تطبيقي يعمل على تركيز الحزمة الإشعاعية بدقة وتقليل تعرض الأنسجة المجاورة. تُعطى جرعة إشعاعية واحدة عالية ومحددة بدقة، تُعد جزءًا من الجرعة الكلية التي يمكن استكمالها من إجمالي الإشعاع المُعطى خلال دورة علاجية تقليدية متعددة الأسابيع من العلاج الإشعاعي الخارجي. يُستخدم هذا النوع من العلاج في عدة حالات منها:

- ✓ سرطانات المستقيم المتقدمة موضعياً والتي لا يمكن استئصالها لأنها ملتصقة بأعصاب أو أوعية دموية سليمة أو بجدار الحوض الجانبي.
- ✓ الأورام اللحمية في البطن والحوض، خاصة الملتصقة بالجدار الخلفي للبطن.
- ✓ سرطان الرحم وعنق الرحم المتقدمة.
- ✓ بعض حالات سرطان البنكرياس.
- ✓ بعض حالات سرطان الثدي في مراحله المبكرة.
- ✓ الأورام المتكررة (الأورام التي عادت للظهور).

5.1.3.2 العلاج بالنيوترونات:

يُعتبر العلاج الإشعاعي بالنيوترونات شكلًا متخصصًا و فعال للغاية من أشكال العلاج الإشعاعي الخارجي، يُستخدم غالبًا لعلاج الأورام التي يصعب القضاء عليها باستخدام العلاج الإشعاعي التقليدي بالأشعة السينية. يعتمد العلاج بالنيوترونات على استخدام النيوترونات، لاستهداف الخلايا السرطانية وإحداث أضرار بيولوجية كبيرة في مادتها الوراثية. فهو يمتاز بكثافة تأين مرتفعة مما يجعله أكثر قدرة على إتلاف الخلايا السرطانية مقارنة بالإشعاعات منخفضة الكثافة مثل الأشعة السينية أو الإلكترونات أو البروتونات. تكمن أهميته في التأثير البيولوجي الأقوى على الخلايا، مما يجعل فعاليته البيولوجية النسبية أعلى بعدة مرات من العلاج الإشعاعي التقليدي.

6.1.3.2 العلاج بالبروتونات:

يعتمد العلاج الإشعاعي بالبروتونات على استخدام البروتونات و هي جسيمات مشحونة موجبة، حيث يتم توجيهها بدقة نحو الورم. يتميّز هذا العلاج بقدرته على إيصال جرعات إشعاعية مرتفعة إلى الخلايا السرطانية بدقة كبيرة، مع تقليل التعرض غير الضروري للأنسجة المحيطة السليمة.

يتميز العلاج بالبروتونات بوجود قمة براج التي تسمح بتركيز الجرعة الإشعاعية في عمق محدد يوافق تمركز الورم، مع انعدام شبه تام للإشعاع بعده، عكس الأشعة السينية التي تُظهر توزيعًا للجرعة قبل وبعد الورم، مما يؤدي إلى تضرر بعض الأنسجة السليمة.

7.1.3.2 العلاج الإشعاعي التجسيمي للجسم (SBRT):

يُعدّ العلاج الإشعاعي التجسيمي للجسم Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) تقنية متقدمة في العلاج الإشعاعي، حيث يتم توجيه عدة حزم إشعاعية عالية الجرعة من زوايا مختلفة(باستخدام إحداثيات ثلاثية الأبعاد) نحو الورم بدقة كبيرة. قد تتواجد هذه الأورام في مناطق مثل الكبد والرئتين والغدد الكظرية والعمود الفقري. ولتوجيه حزم الإشعاع بدقة تُستخدم وسائد خاصة تتناسب مع شكل الجسم مما يساعد على تثبيت المريض، ويُساعده على اتخاذ الوضعية المناسبة قبل كل جلسة علاج.

8.1.3.2 الجراحة الإشعاعية التجسيمية (SRS):

الجراحة الإشعاعية Stereotactic Radiosurgery (SRS) هي تقنية علاج إشعاعي متقدمة لا تتضمن أي شق أو أدوات جراحية، تُستخدم لإيصال جرعة عالية جدًا من الإشعاع بدقة فائقة إلى هدف محدد غالبًا تُستخدم لمعالجة: أورام الدماغ، بعض التشوهات الوعائية، اضطرابات عصبية، دون الحاجة إلى جراحة فعلية. من خصائصها أنها تُجرى في جلسة واحدة فقط، دقتها عالية جدًا حيث تستخدم إحداثيات ثلاثية الأبعاد، وتوفر حماية للأنسجة السليمة المحيطة.

يُعتبر جهاز سكين غاما أو جهاز العلاج الإشعاعي التجسيمي بأشعة غاما (Gamma Knife) أحد أشهر أنظمة الجراحة الإشعاعية التجسيمية، لا يعتمد استخدام أدوات جراحية تقليدية، بل حزمًا إشعاعية مركزة بدقة عالية. ويُعالج بشكل أساسي أورام الدماغ وبعض الاضطرابات داخل الجمجمة. لضمان توجيه الإشعاع إلى المنطقة المستهدفة يتم تثبيت رأس المريض باستخدام قناع خاص مما يتيح تقليل تعرض الأنسجة السليمة المحيطة.

9.1.3.2 التشعيع الكلي للجسم(TBI):

يُعدّ التشعيع الكلي للجسم(Total Body Irradiation) أحد أشكال العلاج الإشعاعي حيث يتم تعريض الجسم بأكمله لجرعة إشعاعية مدروسة. يُستخدم التشعيع غالبا كإجراء أولي قبل زرع نخاع العظم أو الخلايا الجذعية المكوِّنة للدم، الهدف من هذه الخطوة هو القضاء على الخلايا السرطانية المتبقية كما هو الحال في أمراض الدم الخبيثة(اللوكيميا)، أو تثبيط الجهاز المناعي للمريض بهدف تقليل خطر رفض الأعضاء المزروعة[2].

يُراعى عند استخدام التشعيع الكلي للجسم ما يلي:

- ✓ يكون عملية التشعيع على شكل جرعات مقسمة لغرض خفض السمية وتحسين تحمّل الأنسجة السليمة.
- ✓ الحرص على التوزيع المتجانس للجرعة على مختلف أجزاء جسم المريض و ذلك باستخدام تقنيات خاصة.
- ✓ ضمان حماية خاصة لبعض الأعضاء الحساسة كالرئتين والكلى من الجرعات المرتفعة.

رغم فعالية العلاج إلا أن المضاعفات المحتملة قصيرة وطويلة المدى تترك بصمتها على المريض مثل: التعب، الغثيان، تساقط الشعر، واضطرابات النمو أو التأثير على الخصوبة خاصة عند المرضى صغار السن. لذلك يتم تعاطي العلاج بعناية فائقة تحقق التوازن بين الفعالية العلاجية وتقليل التأثيرات الجانبية.

2.3.2 العلاج الإشعاعي الداخلي(الموضعي)(Brachytherapy):

يُعتبر العلاج الإشعاعي الداخلي (الموضعي) برتوكول علاجي يتم فيه إعطاء الإشعاع من داخل الجسم، كما يُعرف أيضًا بالعلاج الإشعاعي الموضعي. ويتم عن طريق إدخال مصدر مُشِع صغير داخل الجسم؛ إما داخل الورم السرطاني نفسه أو قريبا منه، أو في المنطقة التي كان يشغلها الورم قبل إجراء الجراحة.

توجد أنواع مختلفة من المصادر المشعة، والتي تُعرف بالغرسات (Implants)، وتأخذ أشكالًا مختلفة مثل البذور أو الأسلاك أو الأقراص. تعمل هذه الغرسات على بث جرعة إشعاعية مركزة إلى المنطقة المصابة، مما يؤدي إلى تدمير الخلايا السرطانية، أما الأنسجة السليمة المجاورة للورم فتتعرض لجرعة إشعاعية أقل بكثير.

يُحدد الطبيب المختص الجرعة الإشعاعية المناسبة لكل وضعية، وهو ما يؤثر على مدة بقاء المصدر المشع داخل الجسم، و التي قد تتراوح بين بضع دقائق وعدة أيام، أو قد تبقى بشكل دائم. في هذه الحالة ينخفض النشاط الإشعاعي تدريجيًا إلى أن يتلاشى بعد عدة أسابيع أو أشهر.

تختلف طريقة العلاج الإشعاعي الداخلي باختلاف نوع الورم. فقد تتم بجرعات عالية و قد تكون بجرعات منخفضة.

1.2.3.2 العلاج الإشعاعي الموضعي عالي الجرعة:

يُنقل المصدر المشع من جهاز المعالجة إلى الموضع المطلوب عبر أنابيب مجوفة أو إبر(يُطلق عليها أدوات التطبيق)، قد يتم إدخالها أثناء التخدير العام للمريض. بعد 5 إلى 20 دقيقة من العلاج،

يعود المصدر عبر أدوات التطبيق إلى جهاز المعالجة الإشعاعية، بعد المعالجة لا يكون المريض مشعا. يتم العلاج خلال جلسة واحدة، أو في عدة جلسات على مدى عدة أيام.

2.2.3.2 العلاج الإشعاعي الموضعي بجرعات منخفضة:

يتعرض المريض لجرعة إشعاعية أقل خلال فترة أطول، قد يبقى المصدر المشع في المريض لمدة تصل إلى أسبوع، حيث يبقى في المستشفى في غرفة خاصة. بعد العلاج يقوم الطبيب بإزالة المصدر المشع حينها لا يكون المريض مشعا كما يمكنه العودة إلى منزله.

3.2.3.2 المعالجة الإشعاعية بالبذور الدائمة:

تُصنف هذه التقنية من المعالجات الإشعاعية منخفضة الجرعة. ففي حالة سرطان البروستاتا مثلا، تُزرع البذور المشعة داخل البروستاتا مدى الحياة، تُطلق هذه البذور إشعاعًا ببطء على مدى بضعة أشهر، يكون المريض مُشعًا بشكل طفيف لفترة من الوقت إلا أنه يمكنه البقاء في المنزل بعد زرع البذور. على المريض أن يتقيد بتعليمات الفريق الطبي المعالج كتجنب الاقتراب من الأطفال والنساء الحوامل[3].

3.3.2 العلاج الإشعاعي الجهازي:

1.3.3.2 تقنية العلاج الإشعاعي الجهازي:

إن ما يميّز العلاج الجهازي هو انتشار المادة المشعة إلى مختلف أنحاء الجسم عبر الدورة الدموية، في حين يقتصر استخدامها في العلاج الداخلي على موضع محدد، بينما لا يتطلب العلاج الإشعاعي الخارجي إدخال أي مادة مشعة إلى داخل الجسم.

يستخدم العلاج الإشعاعي الجهازي مستحضرات صيدلانية مشعة تكون سائلة تُعطى عن طريق الفم أو تُحقن في الوريد لعلاج أنواع معينة من السرطان.

على الرغم من انتشار المادة المشعة في الجسم بأكمله، إلا أنها تمتلك القدرة على استهداف الخلايا السرطانية والتجمع فيها بشكل انتقائي، مما يسمح بإيصال جرعات إشعاعية دقيقة إلى الورم أو إلى الخلايا السرطانية المنتشرة.

تُستخدم بعض هذه المواد المشعة في التشخيص، مثل الكشف عن نقائل العظام (أي انتشار السرطان إلى العظام)، إضافةً إلى استخدامها في تشخيص بعض الحالات المرضية غير السرطانية.

2.3.3.2 الأدوية المستخدمة في العلاج الإشعاعي الجهازي:

يوجد نوعان رئيسيان من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المستخدمة في العلاج الإشعاعي الجهازي: العلاج الإشعاعي المناعي، و العلاج الإشعاعي بمستقبلات الببتيد (PRRT)

1.2.3.3.2 العلاج الإشعاعي المناعي:

يجمع العلاج الإشعاعي المناعي بين كمية صغيرة من مادة مشعة ودواء خاص يُسمى الجسم المضاد أحادي النسيلة. تعمل المادة المشعة كعامل مُشِع، بينما يقوم الجسم المضاد بالتعرّف على الخلايا السرطانية والارتباط بها بشكل نوعي، مما يسمح بتوجيه الإشعاع مباشرة إلى هذه الخلايا و من ثَمَّ تدميرها. يُستخدم العلاج الإشعاعي المناعي بوجه خاص في علاج: سرطان البروستاتا، أورام الغدد الصماء العصبية، و بعض أنواع الأورام اللمفاوية، كما يُستخدم لعلاج أنواع أخرى من السرطان. يواصل الخبراء دراسة وتطوير أدوية جديدة لعلاج المزيد من أنواع السرطان بهذه الطريقة.

2.2.3.3.2 العلاج الإشعاعي بمستقبلات الببتيد(PRRT):

يجمع العلاج الإشعاعي بمستقبلات الببتيد (PRRT) بين المواد المشعة وبروتين خاص يدعى الببتيد، لصنع الببتيد المشع. يمتلك هذا الأخير قدرة على التعرف على مستقبلات معينة موجودة على سطح بعض الخلايا السرطانية، خاصةً خلايا أورام الغدد الصماء العصبية، و من ثم يرتبط بها. بعد الارتباط، يقوم الببتيد المشع بإيصال جرعة إشعاعية مباشرة إلى الخلايا المستهدفة، مما يؤدي إلى تدميرها مع تقليل التأثير على الأنسجة السليمة. يمكن استخدام العلاج الإشعاعي بالببتيدات المشعة (PRRT) لعلاج سرطان الغدد الصماء العصبية[4].

4.2 الأجهزة المستخدمة في العلاج الإشعاعي:

1.4.2 أجهزة العلاج الإشعاعي الخارجي:

1.1.4.2 المسرع الخطي (Linear Accelerator) LINAC:

يقوم جهاز المسرّع الخطي (LINAC) بإنتاج حزم من الأشعة السينية عالية الطاقة وتوجيهها بدقة لتتوافق مع شكل الورم بهدف تدمير الخلايا السرطانية، مع تقليل الجرعة الممتصة من قبل الأنسجة السليمة المحيطة.

يمكن تصنيف طاقات الإشعاع المستخدمة كما يلي:

طاقة $6\ MeV$ مناسبة للأورام السطحية أو التي لا يتجاوز عمقها 10 سم.

طاقة $18\ MeV$ مناسبة للأورام العميقة التي يزيد عمقها عن 10 سم.

يستطيع جهاز (LINAC) تقديم عدة تقنيات علاجية، منها: العلاج الإشعاعي التقليدي، العلاج الإشعاعي المطابق ثلاثي الأبعاد، و العلاج الإشعاعي معدّل الشدة، كما يمكن استخدامه لعلاج مختلف أجزاء الجسم[5].

يتكون جهاز المسرّع الخطي من أجزاء عديدة منها:

مسدس الإلكترونات.

مسرّع الإلكترونات.

نظام الترددات الراديوية (RF) .

المغناطيس الانحنائي.

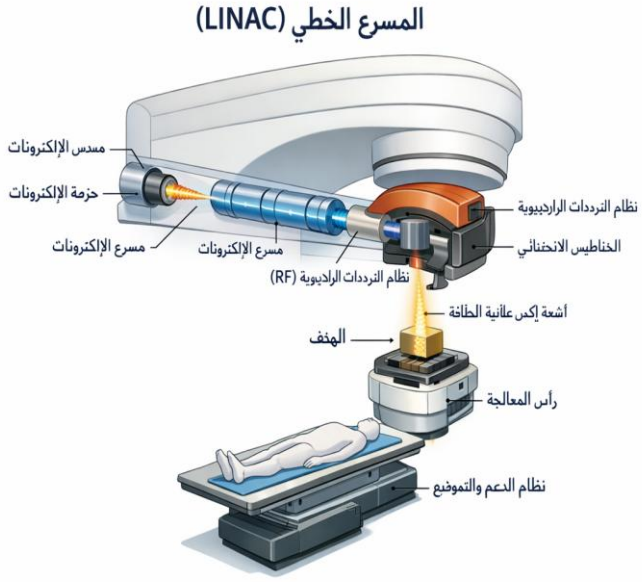
الهدف (Target) .

رأس المعالجة (Treatment Head).

نظام الدعم والتموضع[6].

الشكل (1.2): صورة فوتوغرافية لجهاز المسرع الخطي

يوضح الشكل (1.2) صورة فوتوغرافية لجهاز المسرع الخطي. أما الشكل (2.2) فيوضح مكونات جهاز المسرع الخطي.



الشكل(2.2): مكونات جهاز المسرع الخطي.

2.1.4.2 جهاز الكوبالت (Cobalt-60):

هو جهاز يُستخدم في العلاج الإشعاعي الخارجي (العلاج عن بُعد). يُعد الكوبالت–60 نظيرًا مشعًا اصطناعيًا، يبلغ عمر النصف له حوالي 5.27 سنوات، ويتم إنتاجه عن طريق التشعيع النيوتروني لنظير الكوبالت–59 داخل مفاعل نووي.

يتحلل الكوبالت–60 عن طريق تحلل بيتا (β^-) إلى النظير المستقر نيكل–60، حيث تصدر النواة الناتجة أشعة جاما بطاقة 1.33 MeV و 1.17 MeV وهي المسؤولة عن التأثير العلاجي[7].

مبدأ عمل الجهاز:

يعتمد جهاز الكوبالت–60 على مصدر مشع مغلق يُستخدم في وحدات العلاج عن بُعد، حيث يُصدر حزمة مركزة من أشعة جاما تُوجَّه نحو الورم لعلاج أنواع مختلفة من السرطانات، مع محاولة تقليل تعرض الأنسجة السليمة المحيطة.

أجزاء جهاز الكوبالت–60:

الرأس (Head).

المُصَفّي أو مُشكِّل الحزمة (Collimator)

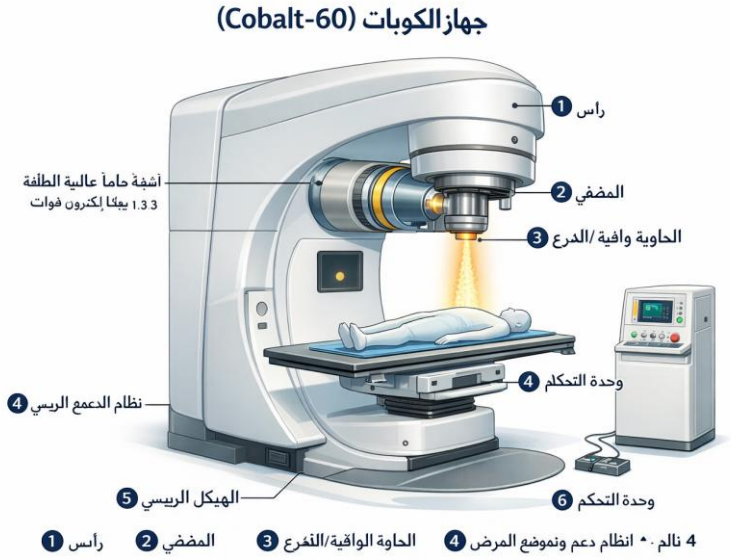
الحافظة الواقية/الدرع (Shielding Housing) .

نظام دعم وتموضع المريض .

الهيكل الرئيسي (Gantry/Structure) .

وحدة التحكم.

يُوضح الشكل (3.2) المكونات الرئيسية لجهاز الكوبالت–60



الشكل (3.2): المكونات الرئيسية لجهاز الكوبالت–60

3.1.4.2 أجهزة العلاج بالبروتون:

يُعدّ العلاج بالبروتونات أحد أنواع العلاج الإشعاعي، حيث تُستخدم حزمًا من البروتونات لعلاج الأورام. يتميز العلاج بالبروتونات بفعالية مماثلة للعلاج الإشعاعي التقليدي، مع دقة عالية في توصيل الجرعة الإشعاعية. تستهدف حزم البروتونات الورم بشكل مباشر، مع تقليل الجرعة الواصلة إلى الأنسجة والأعضاء السليمة المجاورة، مما يساهم في خفض خطر الآثار الجانبية والمضاعفات طويلة المدى. يُستخدم العلاج بالبروتونات بمفرده، أو بالاشتراك مع وسائل علاجية أخرى، مثل العلاج الإشعاعي التقليدي، والجراحة، والعلاج الكيميائي، والعلاج المناعي[8].

آلية عمل العلاج بالبروتونات:

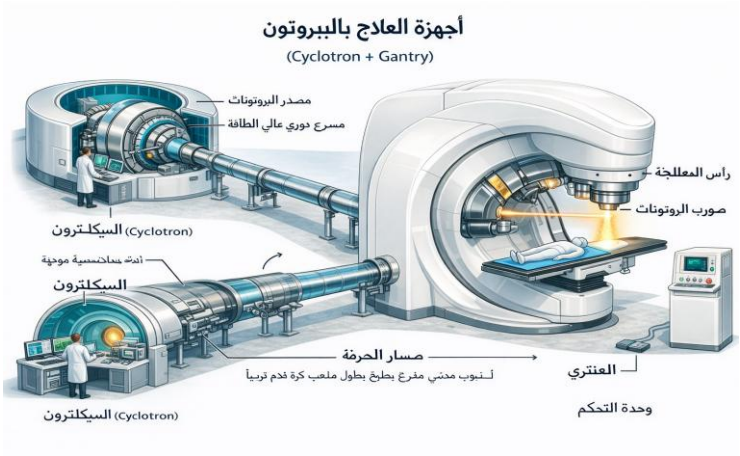
تعتمد تقنية العلاج بالبروتونات على شبكة متطورة من الأجهزة. أثناء وجود المريض على طاولة العلاج، يعمل جهاز خاص يُسمّى السيكلوترون (Cyclotron) أو المسرّع البروتوني في مكان منفصل داخل المنشأة، حيث يقوم بتسريع البروتونات إلى طاقات عالية.

بعد ذلك تنتقل البروتونات عبر مسار الحزمة، وهو نظام معقد من الأنابيب المعدنية المفرغة، قد يمتد لمسافات طويلة، وتُستخدم المجالات المغناطيسية لتوجيه هذه البروتونات بدقة عبر هذا المسار نحو غرفة العلاج (كما يُطلق عليها أحيانًا بقبو العلاج).

عند وصولها تخرج البروتونات عبر فوهة توجيه تُسمّى رأس المعالجة، حيث يتم توجيهها نحو جسم المريض. ويُحيط بالمريض هيكل دوّار كبير يُعرف بـ: الغانتري (Gantry) ، يسمح بتدوير الحزمة حول المريض لإيصال الإشعاع له من زوايا متعددة.

يتم تصميم هذا النظام لتوجيه حزم البروتونات بدقة عالية جدًا، وفقًا لخطة علاجية يحددها الطبيب المختص، بما يضمن تحقيق أقصى فعالية علاجية مع الحفاظ على سلامة الأنسجة السليمة.

يوضح الشكل (4.2) الأجزاء الرئيسية لجهاز العلاج بالبروتونات



الشكل (4.2): الأجزاء الرئيسية لجهاز العلاج بالبروتونات

4.1.4.2 تقنية سكين غاما (Gamma Knife):

تُعدّ تقنية العلاج الإشعاعي التجسيمي بسكين غاما من تقنيات الجراحة الإشعاعية التجسيمية داخل القحف، وتُستخدم في علاج أورام الدماغ و بعض التشوهات الدماغية، ضمن إطار العلاج الإشعاعي غير الجراحي. في هذه التقنية تتلقى الأنسجة المستهدفة جرعة عالية جدًا من الإشعاع في جلسة واحدة، بينما تتعرض الأنسجة الدماغية المجاورة لجرعات منخفضة، مما يساهم في تقليل الأضرار الجانبية. تهدف تقنية العلاج الإشعاعي التجسيمي بسكين غاما أساسًا إلى إيقاف نمو الورم أو تقليصه[9].

طريقة عمل تقنية سكين غاما:

تتميز تقنية العلاج الإشعاعي التجسيمي بسكين غاما بالدقة والسرعة و الموثوقية. يتم تخطيط العلاج وفقًا لوضعية كل مريض على حدة، حيث يقوم برنامج حاسوبي خاص بجهاز سكين غاما بتحويل خطة العلاج إلى مجموعة من التعليمات الدقيقة لتوجيه حزم أشعة غاما نحو الورم.

يبدأ العلاج بتثبيت إطار التوضيع التجسيمي على رأس المريض، وهي عملية تُجرى بسهولة خلال دقائق قليلة، ولا يتطلب ذلك سوى تخدير موضعي. بعد ذلك يتم إجراء الفحوصات التصويرية اللازمة حسب حالة المريض، مثل التصوير بالرنين المغناطيسي (Magnetic Resonance Imaging- MRI) ، أو التصوير المقطعي المحوسب (CT) ، أو تصوير الأوعية الدموية.

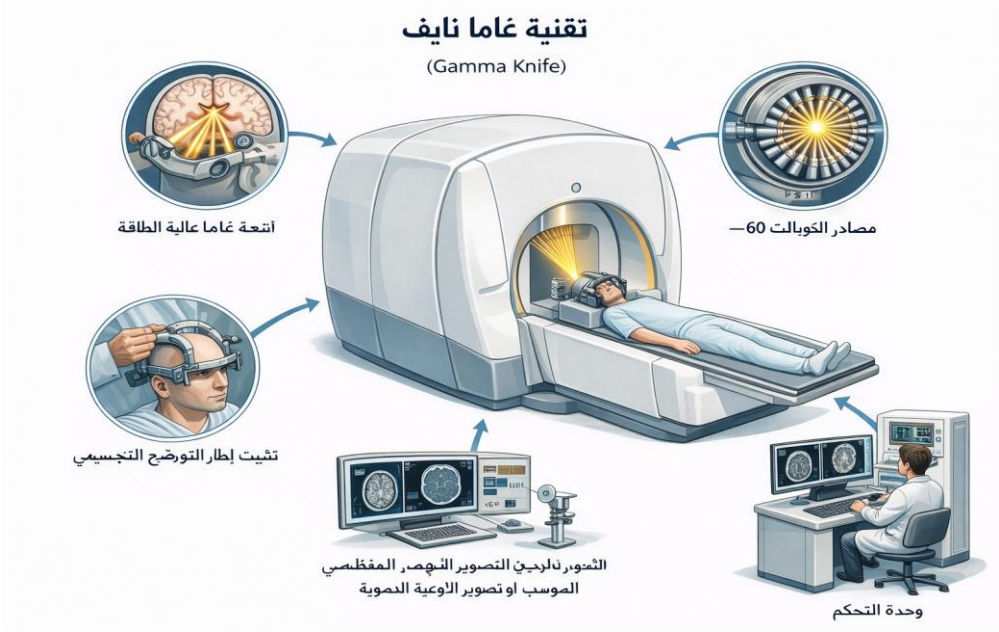
تُستخدم هذه الصور لإنشاء خريطة مفصلة ودقيقة للغاية للدماغ ، مما يسمح بتخطيط العلاج باستخدام برنامج تخطيط محوسب متخصص. وتكون الخطة العلاجية مصممة بدقة عالية (أقل من مليمتر واحد) لضمان استهداف الورم مع حماية الأنسجة العصبية السليمة المحيطة.

تستغرق جلسة العلاج عادةً ما بين 30 و90 دقيقة، وقد تطول المدة في بعض الحالات الخاصة. خلال العلاج يكون المريض مستلقيًا بشكل مريح على طاولة العلاج.

بعد انتهاء الجلسة يتم إزالة إطار التوضيع، ويخرج معظم المرضى من المستشفى في نفس اليوم، عكس معظم العمليات الجراحية الأخرى.

بعد العلاج باستخدام تقنية نظام سكين غاما للجراحة الإشعاعية، يمكن للمرضى استئناف روتينهم الطبيعي.

يوضح الشكل (5.2) جهاز سكين غاما و ملحقاته



الشكل (5.2): شكل تخطيطي لجهاز سكين غاما و ملحقاته

5.1.4.2 نظام الجراحة الإشعاعية الروبوتية(نظام سكين سايبر للجراحة الإشعاعية) :(CyberKnife)

تُعدّ تقنية العلاج الإشعاعي التجسيمي الروبوتي (CyberKnife) من أنظمة الجراحة الإشعاعية المتقدمة وهو نظام غير جراحي؛ يعتمد على التوجيه الدقيق للإشعاع لعلاج الأورام في مختلف أنحاء الجسم، مع تحقيق دقة عالية تضاهي دقة الجراحة التقليدية ، دون الحاجة إلى تدخل جراحي.

يُستخدم السايبر نايف لعلاج الأورام السرطانية وغير السرطانية، بما في ذلك الحالات المرتدة التي سبق علاجها إشعاعيًا. يمكن تطبيقه على عدة مناطق في الجسم، مثل: البروستاتا، الرئة، الدماغ، العمود الفقري، الكبد، البنكرياس، والكلى.

تعتمد منظومة العلاج الإشعاعي الموجه روبوتيًا على توجيه جرعات عالية من الإشعاع بدقة بالغة دون أن يُهاجم الأنسجة السليمة المحيطة بالورم، ودون أن يتأثر بحركة وتنفس المريض. لذلك لا ينبغى تثبيت المريض، فكاميرات التوجيه الخاصة بالسايبر نايف، تقوم بتحديد موقع الورم فى الجسم عن طريق: تصوير متقدم باستخدام الأشعة السينية منخفضة الطاقة (kV) بطريقة تصوير مجسّم (Stereoscopic Imaging)، إضافة إلى صور الأشعة المقطعية (CT)، لتحديد موقع الورم بدقة آنية.

يتكون النظام من مسرّع خطي صغير مُثبّت على ذراع روبوتية قادرة على الحركة بحرية حول المريض، مما يسمح بتوجيه مئات الحزم الإشعاعية من زوايا مختلفة لتتجمع بدقة في موقع الورم.

يُصنف السايبر نايف على أنه خيارًا علاجيًا غير جراحي وغير مؤلم، ويُعدّ تطورًا متقدمًا في أنظمة المسرّعات الخطية(LINAC) ، حيث يستخدم حزم الفوتونات عالية الطاقة مع تقنيات تتبع دقيقة للورم. وبفضل هذه الدقة، يمكن تقليل عدد الجلسات العلاجية بشكل كبير، فبدلًا من تلقي المريض 42 جلسة إشعاع خلال العلاج الإشعاعي التقليدي ، ينخفض هذا العدد إلى 5 جلسات كحد أقصى بسبب دقتها[10]. يبين الشكل(6.2) صورة حقيقية لجهاز CyberKnife تُظهر الذراع الروبوتية الحاملة للمسرّع الخطي أثناء توجيه الحزم الإشعاعية نحو المريض.

الشكل(6.2): صورة لجهاز CyberKnife

2.4.2 أجهزة العلاج الاشعاعي الداخلي (Brachytherapy):

1.2.4.2 أجهزة التحميل اللاحق الآلي (Afterloading Systems):

تعتمد هذه الأجهزة على إدخال مصادر مشعة إلى داخل الجسم أو بالقرب من الورم بشكل دقيق، مما يسمح بإيصال جرعة إشعاعية عالية إلى الورم مع تقليل التعرض للأنسجة السليمة المحيطة[11].

1.1.2.4.2 الغرسات المؤقتة (حبيبات أو مصادر مشعة صغيرة): و تشمل

المعالجة الإشعاعية الموضعية منخفضة معدل الجرعة (LDR):

تُطلق غرسات LDR جرعات منخفضة من الإشعاع بشكل مستمر لمدة تتراوح من يوم إلى سبعة أيام. ثم يقوم الطبيب بإزالتها.

المعالجة الإشعاعية الموضعية عالية معدل الجرعة (HDR):

تُعطى الجرعة الإشعاعية على شكل جلسات قصيرة، حيث تُطلق الغرسات جرعات عالية خلال فترة تتراوح بين 10 و20 دقيقة لكل جلسة، ويتم إدخال المصدر المشع وإزالته بعد كل جلسة. وقد تتكرر الجلسات مرتين يوميًا لمدة تصل إلى خمسة أيام، أو مرة واحدة أسبوعيًا لمدة تصل إلى خمسة أسابيع، حسب الخطة العلاجية.

2.1.2.4.2 الغرسات (الزراعة) الدائمة:

تُزرع هذه المصادر المشعة داخل الجسم بشكل دائم، حيث تُطلق جرعات منخفضة من الإشعاع بشكل مستمر على مدى عدة أسابيع أو أشهر. مع مرور الوقت يتناقص النشاط الإشعاعي تدريجيًا حتى يصبح ضئيلًا جدًا. تبقى هذه الغرسات داخل الجسم دون الحاجة إلى إزالتها.

2.2.4.2 القساطر والمطبقات (applicators/catheters):

1.2.2.4.2 القسطرة:

هي أنبوب مجوف ومرن يُستخدم لنقل السوائل من بعض الأماكن في الجسم إلى الخارج أو العكس. تُصنع القساطر من عدة مواد؛ المطاط، البلاستيك، والسيليكون، وتختلف أشكالها وأحجامها حسب حالة المريض.

أنواع القساطر:

- ✓ **القسطرة البولية:** يوجد عدة أصناف؛ قسطرة بولية داخلية، قسطرة بولية خارجية، و قسطرة مؤقتة
- ✓ **القسطرة الوريدية:** و تشمل

– قسطرة وريدية مركزية: و منها القسطرة المركزية المُدخلة طرفيًا(PICC) ، القسطرة الوريدية المركزية البوابية (Port) ، القسطرة الوريدية المركزية النفقية

– قسطرة وريدية طرفية

القسطرة القلبية: و تشمل القسطرة القلبية التشخيصية، القسطرة القلبية العلاجية[12].

2.2.2.4.2 المُطبِّقات:(Applicators)

هي معدات طبية متخصصة تُستخدم لتوجيه وتثبيت المصادر المشعة بدقة داخل الورم أو بالقرب منه، خاصة في تقنيات العلاج الإشعاعي الموضعي، مما يضمن إيصال الجرعة الإشعاعية إلى الهدف بدقة.

3.3.2 العلاج بالنظائر المشعة(Radionuclide Therapy) :

يُعدّ العلاج بالنظائر المشعة أحد فروع الطب النووي، يرتكز على استخدام عناصر كيميائية غير مستقرة (نظائر مشعة) للقضاء على الخلايا السرطانية أو وقف تكاثرها. تتفكك النظائر المشعة تلقائيًا

مطلِقةً طاقة إشعاعية يمكن توجيهها لاستهداف الخلايا الخبيثة بفعالية. ويجري اختيار نوع النظير المشع وطريقة تطبيقه وفقًا لنوع الورم وحجمه ومرحلته.

يُستخدم العلاج بالنظائر المشعة في حالات متنوعة، سواء كانت أورامًا صلبة في أعضاء معينة أو أنواعًا من السرطانات الدموية. من أهم الأمثلة المعروفة لهذه التقنية استخدام نظير اليود المشع لعلاج سرطانات الغدة الدرقية، وكذا استخدام نظائر أخرى لعلاج أورام الغدة الكظرية وسرطانات البروستاتا وأمراض العظام النقيلية.

نشير إلى أن هذا النمط العلاجي ليس بديلًا لأنواع العلاجات التقليدية؛ بل مكملًا لها في كثير من الحالات. فمثلا قد تُستخدَم النظائر المشعة بعد استئصال ورم ما للقضاء على أية خلايا متبقية، أو قد يُستخدم مع المرضى الذين لا يناسبهم العلاج الكيميائي أو الجراحة لأسباب صحية[13].

مراجع الفصل الثاني

[1] مصطفى محمد عبد المهدي المجالي، "الوقاية الإشعاعية: المبادئ والتطبيقات"، عمّان، الأردن، الدار المتقدمة للنشر والتوزيع.

[2] F. M. Khan, J. P. Gibbons, "Khan's The Physics of Radiation Therapy", Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 5th ed, 2014

[3] C. M.Washington, D. T. Leaver," Principles and Practice of Radiation Therapy", St. Louis: Elsevier, 4th ed, 2016

[4] P. J. Hoskin, C. Coyle, "Radiotherapy in Practice: Radioisotope Therapy", Oxford: Oxford University Press, 2019

[5] E. B. Podgorsak, "Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students", Vienna: IAEA, 2010

[6] P. Inge, "Radiation Protection", Federal Office for Radiation Protection (Bundesamt für Strahlenschutz), Germany, 2017

[7] E. J. Hall, A. J. Giaccia, "Radiobiology for the Radiologist", Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 7th ed, 2012.

[8] F. Kristy, "Proton Therapy", Cincinnati Children's Hospital Medical Center, 2023

[9] L. Leksell, J. R. Adler, "Stereotactic Radiosurgery", New York: Springer, 2004

[10] W. A. Friedman, K. D. Foote, "Stereotactic Radiosurgery and Stereotactic Body Radiation Therapy", New York: Springer, 2012

[11] S. Gianolini, A.Gerbaulet, "Handbook of Brachytherapy", Paris: ESTRO (European Society for Radiotherapy & Oncology), 2012

[12] A.Waugh, A.Grant, "Ross & Wilson: Anatomy and Physiology in Health and Illness", 13th ed, London: Elsevier, 2018

[13] S. R. Cherry, J. A Sorenson, & M. E. Phelps, "Physics in Nuclear Medicine", 4th ed, Philadelphia: Elsevier, 2012

الفصل الثالث:

دراسة ميدانية، نتائج و تحليل

الفصل الثالث: دراسة ميدانية، نتائج و تحليل

1.3 مقدمة:

إن عدد الإجراءات الطبية التشخيصية والعلاجية باستخدام الإشعاعات المؤينة في ارتفاع مطرد. والإجراءات الحالية تؤدي إلى زيادة الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها المرضى وكوادر العلاج والمتابعة الطبية. هذه الاجراءات صارت تنفذ بصورة اعتيادية وتكرارية من أجل الوقاية والسلامة العامة[1]

الهدف العام لبرنامج الوقاية من الإشعاع هو: أن يُعكس تطبيق مسؤولية الإدارة نحو الوقاية من الإشعاع والأمان من خلال تبني الإدارة سياسات ومناهج وترتيبات تنظيمية تتناسب مع طبيعة ومدى مخاطر مرتبطة بالإشعاعات المؤينة في الظروف الاعتيادية، وعند حصول الحوادث والحالات الطارئة. كما يهدف برنامج الوقاية من الإشعاع إلى وقاية العاملين وضمان صحة المجتمع والمحافظة على سلامة البيئة ووضع ترتيبات تضمن تقليل التعرض للإشعاع أو الحد منه استناداً إلى المعايير الدولية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية فضلا عن تسهيل مهمة المسؤولين والعاملين في مختلف مجالات الإشعاع المؤين[2].

تتوفر أجهزة المسح الإشعاعي داخل أماكن استخدام المواد المشعة، ويتم تدريب العاملين على استخدامها بكفاءة تحت إشراف مسؤول الوقاية الإشعاعية حتى يتم استخدامها إذا اقتضت الضرورة ذلك[3].

2.3 هدف الدراسة:

إن قياس ومراقبة الإشعاع في أماكن العمل بالأشعة على صلة وثيقة بحماية العاملين من أطباء وفنيين، ... هذه القياسات تشكل نوع من مراقبة أماكن العمل الإشعاعي. يجب أن تتم هذه القياسات قبل المباشرة في العمل الإشعاعي لأول مرة، وكذلك عند إجراء أي تغير في مكان العمل الإشعاعي وبشكل دوري وبوتيرة سنوية[4].

تهدف الدراسة لقياس الجرعة الإشعاعية المتسربة باستخدام عداد Thermo Scientific RadEye G-10 وتأثيرها على العاملين في أقسام الأشعة.

3.3 وصف مكان الدراسة:

تم أخذ القياسات في أقسام التصوير الطبي (الأشعة السينية وCT scan) وأقسام العلاج بالأشعة (المسرع الخطي ومصدر الكوبالت) في مستشفى محمد بوضياف بورقلة،

1.3.3 قسم التصوير الطبي:

يعتبر قسم التصوير الطبي، من الأقسام المهمة في المستشفى حيث يستخدم فيه أجهزة الأشعة السينية وجهاز الأشعة المقطعية للإجراءات الطبية التشخيصية للمرضى، ونظرا للاستعمال اليومي لهذه الأجهزة قد يحدث تسرب إشعاعي أثناء التشغيل يجب حماية العاملين منه.

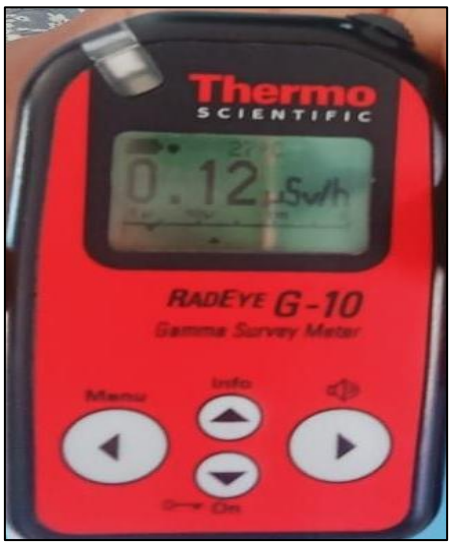
2.3.3 قسم العلاج بالأشعة:

يهتم هذا القسم بعلاج الأورام السرطانية باستخدام الأشعة المؤينة التي تنتج عن طريق المسرع الخطي أو مصدر مشع (كوبالت 60)، يتم فيها تقديم جرعات اشعاعية عالية تستهدف الخلايا السرطانية، لذا يجب مراقبة مستوى التسرب لحماية العاملين من هذه الجرعات.

4.3 خصائص عينة العاملين:

شملت الدراسة المقطعية عينة من العاملين في المجال الإشعاعي تم اختيارهم عشوائياً. يتنوعون بين إناث وذكور، أعمارهم بين (25 و55 سنة)، تتراوح سنوات خبرتهم بين (سنة و أكثر من 10سنوات)، مهنتهم تقنيي أشعة، يعملون لمدة بين 6 إلى 8ساعات، حيث تهدف هذه الدراسة لمقارنة زمن التعرض وقياس كمية الإشعاع المتسرب.

5.3 الجهاز المستخدم في قياس الاشعاع:



الشكل (1.3): جهاز RadEye G-10

1.5.3 خصائص عدادات RadEye G-10:

1. يُعتبر جهاز RadEye G-10 من الأجهزة المحمولة المتطورة المستخدمة في قياس ومراقبة الإشعاعات المؤينة، وهو من إنتاج شركة Thermo Scientific. صُمّم هذا الجهاز خصيصًا للكشف عن أشعة غاما والأشعة السينية وقياس معدّل الجرعة الإشعاعية والجرعة التراكمية بدقة عالية وفي الزمن الحقيقي، مما يجعله من الأجهزة الشائعة الاستعمال في أقسام الأشعة، والطب النووي، والعلاج الإشعاعي، إضافة إلى التطبيقات الصناعية والبيئية والأمنية.

2. يتميز الجهاز بحجمه الصغير ووزنه الخفيف وسهولة حمله، كما يحتوي على شاشة رقمية واضحة تعرض قيم القياس والوحدات المختلفة، إلى جانب نظام إنذار صوتي ومرئي ينبه المستخدم عند تجاوز الحدود الإشعاعية المسموح بها.

3. يعتمد جهاز RadEye G-10 على كاشف من نوع غايغر–مولر(Geiger-Müller) ، ويتميّز بقدرته على قياس معدلات جرعات منخفضة وعالية نسبيًا ضمن مجال واسع، الأمر الذي يسمح باستخدامه في عمليات المسح الإشعاعي الروتيني ومراقبة أماكن العمل الإشعاعية.

4. يتمتع بسرعة استجابة جيدة ودقة مناسبة للقياسات الميدانية، إضافة إلى استهلاك منخفض للطاقة وإمكانية تشغيله لفترات طويلة بواسطة بطاريات عادية.

5. من مزاياه كذلك سهولة البرمجة وضبط حدود الإنذار وإمكانية تخزين بعض البيانات المتعلقة بالقياسات.

2.5.3 قيود عدادات RadEye G-10:

رغم المزايا العديدة لهذا الجهاز، إلا أن استعماله يخضع لعدة قيود وشروط لضمان دقة النتائج وسلامة الإستخدام:

1. عدادات RadEye G-10 مخصصة أساسًا للكشف عن أشعة غاما والأشعة السينية، وبالتالي فإن كفاءتها تكون محدودة في قياس بعض أنواع الإشعاعات الأخرى مثل جسيمات ألفا وبيتا منخفضة الطاقة[5]

2. دقته قد تتأثر في البيئات ذات الجرعات العالية جدًا أو في حال وجود تداخلات إشعاعية قوية.

3. يستلزم الجهاز إجراء معايرة دورية وصيانة منتظمة للحفاظ على كفاءته ودقة قراءاته، إضافة إلى ضرورة استعماله من طرف أشخاص مدرّبين على تقنيات القياس الإشعاعي وتفسير النتائج بشكل صحيح.

4. يُعد RadEye G-10 أداة مهمة في مجال الوقاية الإشعاعية، شرط الالتزام بقواعد الاستخدام والمعايرة المعتمدة.

6.3 بروتوكول قياس الإشعاع:

تشمل قياسات أماكن العمل عدة نقاط في مكان العمل وخارجه؛ عند لوحات التحكم، خلف الدروع الواقية، وخلف النوافذ المرصصة. تتم هذه القياسات بواسطة عداد RadEye G-10 في نقاط مختلفة في غرف الأشعة وخارجها، وفي الممرات وأماكن الانتظار وأماكن تبديل الملابس وأماكن الاستراحة للعاملين. إن هذه

القياسات لا تغني عن برنامج قياس الجرعات الشخصية للعاملين، لكنها تعتبر كصورة مرجعية لمكان العمل الإشعاعي ومحيطه.

يعتمد بروتوكول القياس في مجال الحماية من الإشعاع على مجموعة من العناصر الأساسية التي تضمن دقة النتائج وموثوقيتها، منها:

1.6.3 نقاط القياس:

أولاً يتم تحديد مواضع القياس بعناية داخل القسم أو حول الجهاز الإشعاعي، بحيث تشمل المناطق القريبة من مصدر الإشعاع والمناطق التي يتواجد فيها العاملون بشكل متكرر، لضمان تقييم شامل لمستويات التعرض.

2.6.3 المسافات:

ثانياً تُراعى المسافات بين جهاز القياس ومصدر الإشعاع أو العاملين، إذ تلعب المسافة دور أساسي في الوقاية الإشعاعية، حيث أنه كلما زادت المسافة عن مصدر الإشعاع كلما انخفض مقدار التعرض الإشعاعي (الجرعة) وفق مبدأ تناقص الشدة مع زيادة البعد[4].

3.6.3 زمن القياس:

يتم ضبط زمن القياس بشكل دقيق، حيث تُجرى القياسات خلال فترات زمنية محددة وثابتة لضمان إمكانية المقارنة بين القراءات وتقليل التباين الناتج عن التغيرات اللحظية في التشغيل.

4.6.3 حالة الجهاز (تشغيل/إيقاف):

أخيراً تُؤخذ حالة الجهاز (تشغيل/إيقاف) بعين الاعتبار، إذ يتم إجراء القياسات في كلا الوضعين لتقييم الإشعاع المباشر أثناء التشغيل ومستوى الخلفية الإشعاعية عند الإيقاف، مما يسمح بتحديد الفروقات بدقة وتقييم فعالية وسائل الحماية المعتمدة داخل القسم.

7.3 قياس الإشعاع المتسرب:

1.7.3 قياس الإشعاع داخل غرف الأشعة السينية (X-ray)

الجدول(1.3): قياسات الإشعاع في غرفة الأشعة السينية (X-ray) أثناء التشغيل وعدم التشغيل

حالة الجهاز	نقاط القياس	القياس 1	القياس 2	القياس 3	متوسط القياس
مغلق، بوحدة (µSv/h)	قرب الجهاز	0.14	0.13	0.12	0.13
	عند الأنبوب	0.10	0.10	0.13	0.11
	على بعد 1متر	0.14	0.17		0.15
	خلف الحاجز	0.14	0.13	0.12	0.13
مشغل، بوحدة (µSv/h)	خلف الحاجز	54 عند انطلاق الأشعة	0.17	0.13 بعد التشتت	18.1 بعد التشتت

1.1.7.3 تحليل نتائج القياس:

يُظهر تحليل نتائج قياسات غرف الأشعة التقليدية (X-ray) المبينة في الجدول (1.3) وجود تباين واضح بين قيم الإشعاع في حالة توقف الجهاز وحالة تشغيله، مع اختلاف كبير حسب مكان القياس، مما يعكس تأثير التشتت والدرع الواقي (الحاجز الرصاصي) على مستويات التعرض.

* في حالة "عدم تشغيل الجهاز":

تُسجَّل قيم منخفضة جداً ومتقاربة نسبياً عبر مختلف النقاط، حيث بلغ المتوسط خلف الحاجز الرصاصي حوالي 0.13 µSv/h، وبجانب الجهاز 0.13 µSv/h أيضاً، بينما عند أنبوب الأشعة السينية سجلت أدنى قيمة بمتوسط 0.11 µSv/h هذه القيم تمثل مستوى الخلفية الإشعاعية الطبيعية داخل القسم، وتدل على فعالية العزل الإشعاعي وعدم وجود تسرب ملحوظ عند توقف الجهاز.

* أثناء تشغيل الجهاز:

لُوحظت زيادة حادة في قيم الإشعاع خاصة خلف الحاجز الرصاصي، حيث سُجلت قيمة مرتفعة جداً وصلت إلى حوالي 54 µSv/h عند لحظة انطلاق الأشعة، ثم انخفضت إلى 0.17 µSv/h و0.13 µSv/h في قياسات لاحقة بعد التشتت. هذا التباين الكبير يعكس الطابع النبضي للإشعاع أثناء التشغيل، إضافة إلى تأثير التشتت داخل الغرفة، والذي يساهم في انتشار جزء من الإشعاع رغم وجود الحواجز الواقية.

يُلاحظ أن أعلى تعرض يتم تسجيله عند لحظة انطلاق الأشعة، مما يشير إلى أن الخطر الإشعاعي يكون آنياً ومركّزاً زمنياً أكثر منه مستمراً، في حين أن قيم ما بعد التشتت تبقى منخفضة نسبياً، ما يدل على فعالية الحاجز الرصاصي في تقليل الجرعة المنتقلة إلى المناطق المحمية.

بشكل عام، تؤكد النتائج أن غرف الأشعة التقليدية توفر حماية جيدة في حالة عدم التشغيل، بينما يبقى التعرض مرتبطاً أساساً بلحظة إطلاق الأشعة وبمستوى التشتت داخل الغرفة، وهو ما يستدعي الالتزام الصارم بإجراءات الحماية والتموضع الصحيح للعاملين أثناء الفحص الإشعاعي.

2.1.7.3 مقارنة النتائج بالحدود المهنية:

تُعرَّف حدود الجرعة بأنها مقدار الجرعة الفعّالة أو الجرعة المكافئة التي يتعرض لها الأشخاص نتيجة ممارسة أنشطة خاضعة للرقابة الإشعاعية، سواء كان التعرض ناتجًا عن إشعاع خارجي أو عن إدخال مواد مشعة إلى الجسم، ويجب عدم تجاوز هذه الحدود.

بالنسبة للعاملين في مجال الإشعاع، فإن الحد السنوي للجرعة الفعّالة يُقدَّر بـ 20 ملي سيفرت (mSv) في السنة كمعدل على خمس سنوات متتالية، على ألا يتجاوز 100 ملي سيفرت خلال خمس سنوات، مع عدم تجاوز 50 ملي سيفرت في سنة واحدة، كحد أقصى في الحالات الفردية.

3.1.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم الأشعة السينية:

تحسب الجرعة الاشعاعية (y) التي يتلقاها العامل خلال سنة عمل من خلال العلاقة التالية:

$$y = x \times 8 \times 5 \times 12 \times 10^{-3} \qquad (*)$$

حيث: x يمثل القيمة المقيسة للإشعاع

العدد 8 عدد ساعات العمل

العدد 5 يشير إالى أيام العمل

العدد 12 يشير إلى عدد الأشهر

معامل التحويل من وحدة الميكرو إلى وحدة الميلي

نتائج القياس أعلاه موضحة في الجدول (2.3)، أسفله

الجدول (2.3): الجرعات الإشعاعية بجهاز الأشعة السينية مقارنة بالحدود الدولية

متوسط الإشعاع	0.13	0.11	18.1	0.15
معدل الجرعة السنوية(msv/years)	0.0624	0.0528	8.688	0.072

عند مقارنة القيم المقاسة بالحدود الموصى بها دوليًا في الحماية من الإشعاع، نلاحظ أن معدلات الجرعة السنوية المحسوبة في معظم نقاط القياس كانت منخفضة جدًا، إذ تراوحت بين 0.0528 و0.072 mSv/year، وهي أقل بكثير من الحد السنوي المسموح به لعامة الأفراد والمقدر بـ 1 mSv/year وفق توصيات International Commission on Radiological Protection و International Atomic Energy Agency.

أما القيمة المرتفعة المسجلة أثناء تشغيل الجهاز، والتي أعطت معدل جرعة سنوية قدره 8.688 mSv/year، فرغم تجاوزها لحد عامة الأفراد، فإنها تبقى ضمن الحد المهني المسموح به للعاملين في مجال الإشعاع، والذي يبلغ في المتوسط 20 mSv/year خلال خمس سنوات، على ألا تتجاوز الجرعة 50 mSv في سنة واحدة. وتشير هذه النتائج إلى أن ظروف العمل داخل القسم تخضع لمعايير الحماية الإشعاعية الدولية، مع ضرورة استمرار تطبيق إجراءات الوقاية وتقليل زمن التعرض خاصة أثناء تشغيل الجهاز.

2.7.3 قياس الإشعاع داخل غرف جهاز التصوير المقطعي المحوسب أو الأشعة المقطعية(CT):

الجدول(3.3): قياسات الإشعاع بجهاز التصوير المقطعي المحوسب (CT) (CT Scanner)

حالة الجهاز	نقاط القياس	القياس 1	القياس 2	القياس 3	متوسط القياس
مغلق بوحدة	عند الباب 1 (الخارجي)	0.15	0.14	0.14	0.14
	داخل غرفة التحكم	0.14	0.15	0.15	0.14

(µSv/h)	عند الحاجز الزجاجي للنافذة (وجود العامل)	0.15	0.15	0.14	0.14
	وسط الجهاز	0.14	0.15	0.14	0.13
	عند الطبيب	0.14	0.14	0.15	0.14
مشغل (µSv/h)	عند الباب 2 (الداخلي)	1.39	1.49	1.5	1.46
	عند الحاجز الزجاجي	0.71	1.23	1.80	1.24

1.2.7.3 تحليل نتائج القياس:

تُظهر نتائج قياسات جهاز الأشعة المقطعية (CT) المبينة في الجدول (2.3) اختلافاً واضحاً بين مستويات الإشعاع في حالتي إيقاف وتشغيل الجهاز، وهو ما يعكس تأثير التشغيل المباشر للجهاز على الجرعة الإشعاعية داخل محيط العمل.

* في حالة إيقاف الجهاز:

سُجلت قيم منخفضة ومتقاربة جداً في جميع نقاط القياس، حيث تراوحت المتوسطات بين 0.13 و0.14 µSv/h. فقد بلغ متوسط القياس عند الباب الخارجي 0.14 µSv/h، وداخل غرفة التحكم 0.14 µSv/h، وعند الحاجز الزجاجي الخاص بالعامل 0.14 µSv/h، بينما سُجل أدنى متوسط بوسط الجهاز بحوالي 0.13 µSv/h، كما بلغ المتوسط عند الطبيب 0.14 µSv/h، وتشير هذه النتائج إلى أن الخلفية الإشعاعية داخل القسم مستقرة وطبيعية عند توقف الجهاز، مع غياب أي تسرب إشعاعي ملحوظ، مما يدل على سلامة العزل الوقائي داخل غرفة الأشعة المركزية.

* أما أثناء تشغيل الجهاز:

فقد ارتفعت مستويات الإشعاع بشكل ملحوظ مقارنة بحالة الإيقاف. إذ بلغ متوسط القياس عند الباب الداخلي حوالي 1.46 µSv/h، وهي أعلى قيمة مسجلة ضمن نقاط القياس، ما يدل على أن المناطق الأقرب إلى غرفة الفحص تكون أكثر عرضة للإشعاع المتشتت أثناء التصوير.

كما سُجل متوسط قدره 1.24 µSv/h عند الحاجز الزجاجي، مع وجود تذبذب بين القياسات الثلاثة تراوح بين 0.71 و1.80 µSv/h، ويُفسَّر ذلك بتغير شدة التشتت الإشعاعي أثناء مراحل عمل الجهاز واختلاف لحظات القياس.

رغم ارتفاع القيم أثناء التشغيل مقارنة بالخلفية الإشعاعية، فإنها تبقى محدودة نسبياً، مما يعكس فعالية الحواجز الواقية والزجاج الرصاصي في تخفيض التعرض للعاملين داخل غرفة التحكم. كما تؤكد النتائج أهمية بقاء الطاقم الطبي خلف الحواجز الواقية والالتزام بمبادئ الوقاية الإشعاعية، خاصة أثناء تشغيل جهاز الأشعة المركزية الذي يُعد من الأجهزة ذات الجرعات الإشعاعية الأعلى مقارنة بالأشعة التقليدية.

2.2.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم الأشعة المقطعية:

يُحسب حد الجرعة الاشعاعية بالعلاقة السابقة(*)

الجدول (4.3): الجرعات الإشعاعية بجهاز الأشعة المقطعية مقارنة بالحدود الدولية

متوسط الجرعة المقيسة	1.24	1.46	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14
معدل الجرعة msv/years	0.595	0.70	0.067	0.062	0.067	0.067	0.067

تُظهر نتائج قياس معدل الجرعة السنوية للعاملين في قسم الأشعة المقطعية أن جميع القيم المسجلة بقيت ضمن الحدود الدولية المسموح بها مهنيًا. فقد تراوح معدل الجرعة السنوية بين 0.062 و0.70 mSv/year. وسُجلت أعلى قيمة عند نقطة قياس بلغت 1.46 µSv/h، ما يقابل جرعة سنوية قدرها 0.70 mSv/year، في حين كانت بقية القيم منخفضة نسبيًا ولم تتجاوز 0.067 mSv/year.

عند مقارنة هذه النتائج بالمعايير الدولية، نلاحظ أن جميع القيم أقل بكثير من الحد المهني السنوي المسموح به للعاملين في مجال الإشعاع والمقدر بـ 20 mSv/year كمعدل سنوي، كما أنها قريبة أو أقل من الحد المسموح به لعامة الأفراد البالغ 1 mSv/year.

تدل هذه النتائج على فعالية إجراءات الوقاية والتدريع الإشعاعي داخل قسم الأشعة المقطعية، إضافة إلى احترام شروط السلامة الإشعاعية وتقليل تعرض العاملين للإشعاع المؤين أثناء أداء مهامهم المهنية. كما تعكس القيم المنخفضة حسن تنظيم العمل واعتماد وسائل حماية مناسبة داخل القسم.

3.7.3 قياس الإشعاع في مصلحة العلاج الإشعاعي (مصدر الكوبالت 60):

الجدول(5.3): قياسات الإشعاع في مصلحة العلاج الإشعاعي بالكوبالت−60

حالة الجهاز	نقاط القياس	القياس 1	القياس 2	القياس 3	متوسط القياس
مغلق بوحدة (µSv/h)	تماس مع الجهاز	9	9.46	8.92	9.12
	على بعد 1متر من الجهاز	0.31	0.28	0.31	0.3
	خلف الجدار الخرساني 1.25 متر	0.18	0.16	0.12	0.15
	خلف الجدار 2.5 م (تواجد الطاقم العامل)	0.12	0.11	0.12	0.11
	عند باب غرفة العلاج و هو مغلق	0.12	0.13	0.13	0.12

1.3.7.3 تحليل نتائج القياس:

تُظهر نتائج قياسات الإشعاع في مصلحة العلاج الإشعاعي باستعمال مصدر الكوبالت−60 المبينة في الجدول (3.3)، وجود تدرج واضح في مستويات الجرعة الإشعاعية تبعاً للمسافة ووسائل الحماية المستعملة، وهو ما يعكس فعالية نظام الوقاية الإشعاعية داخل المصلحة.

* عند التماس المباشر مع الجهاز:

سُجل أعلى متوسط للقياسات بلغ حوالي 9.12 µSv/h، وهي قيمة مرتفعة نسبياً مقارنة ببقية النقاط، ويرجع ذلك إلى قرب جهاز القياس من مصدر الكوبالت−60 حتى وإن كان الجهاز في حالة إغلاق. ويُفسَّر هذا بوجود إشعاع متبقٍ أو تسرب إشعاعي محدود ناتج عن الطبيعة المستمرة للمصدر المشع، إذ إن الكوبالت−60 يُعد مصدراً إشعاعياً دائم النشاط ولا يتوقف عن إصدار الإشعاع، بل يتم فقط عزله داخل الدرع الواقي للجهاز.

* على بعد متر واحد من الجهاز:

انخفض متوسط القياس بشكل كبير إلى حوالي 0.30 µSv/h، ما يدل على التأثير الواضح للمسافة في تقليل شدة الإشعاع وفق مبدأ التربيع العكسي، حيث تتناقص الجرعة الإشعاعية كلما ابتعدنا عن المصدر المشع.

* أما خلف الجدار الخرساني بسمك 1.25 متر:

فقد انخفض المتوسط إلى حوالي 0.15 µSv/h، وهو انخفاض مهم يبرز فعالية الخرسانة كحاجز واقٍ ضد أشعة غاما الصادرة عن الكوبالت−60.

* خلف الجدار الخرساني بسمك 2.5 متر:تزداد فعالية الحماية أكثر، حيث يتواجد الطاقم العامل، إذ بلغ متوسط القياس حوالي 0.11 µSv/h ، فقط، وهي قيمة قريبة جداً من مستوى الخلفية الإشعاعية الطبيعية، مما يدل على أن سماكة الجدار توفر حماية ممتازة للعاملين داخل المصلحة.

* عند باب غرفة العلاج وهو مغلق:

سُجل متوسط قدره 0.12 µSv/h، ما يشير إلى كفاءة الباب المدرع في الحد من تسرب الإشعاع إلى خارج غرفة العلاج، ويؤكد سلامة تصميم المنشأة من الناحية الوقائية.

بصفة عامة، تؤكد النتائج أن نظام الحماية الإشعاعية في مصلحة العلاج بالكوبالت−60 فعّال، حيث تنخفض مستويات الإشعاع بشكل واضح مع زيادة المسافة ووجود الحواجز الخرسانية والأبواب الواقية. كما تُبرز النتائج أهمية الالتزام بمبادئ الوقاية الإشعاعية الأساسية، خاصة مبدأي المسافة والتدريع، للحد من تعرض الطاقم الطبي للإشعاعات المؤينة.

2.3.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم العلاج الاشعاعي باستخدام(الكوبالت−60):

يُحسب معدل الجرعة السنوية بالعلاقة التالية:

$$y = \frac{x}{4} \times 8 \times 5 \times 12 \times 10^{-3} \qquad (**)$$

$\frac{1}{4}$: عامل تصحيح تشغيلي.

العلاقة (*): تُعطي الجرعة القصوى النظرية.

أما العلاقة (**): فتعطي الجرعة الفعلية التقريبية. يختلف هذا المعامل من مؤسسة لأخرى حسب نوع الجهاز، عبء العمل الإشعاعي. معدل الجرعات الإشعاعية السنوية بمصدر الكوبالت−60 مقارنة بالحدود الدولية موضح في الجدول أسفله.

الجدول (6.3): معدل الجرعات الإشعاعية السنوية بمصدر الكوبالت−60 مقارنة بالحدود الدولية

متوسط الجرعة المقيسة	0.12	0.11	0.15	0.3	9.12
معدل الجرعة msv/years	0.0144	0.0132	0.018	0.036	0.9444

تُبين نتائج الجدول الخاص بمعدل الجرعات الإشعاعية السنوية بمصدر Cobalt-60 teletherapy unit أن معدلات الجرعة السنوية تراوحت بين 0.0132 و0.036 mSv/year ، وهي قيم منخفضة جدًا مقارنة بالحدود الدولية المسموح بها.

أما أعلى معدل جرعة سنوية قدره 0.9444 mSv/year فإنها تبقى أقل من الحد السنوي المسموح به لعامة الأفراد والمحدد بـ 1 mSv/year وفق التوصيات الدولية، كما أنها بعيدة جدًا عن الحد المهني السنوي للعاملين في مجال الإشعاع والمقدر بـ 20 mSv/year

هذه النتائج تبرهن أن مستويات التعرض الإشعاعي المرتبطة بمصدر الكوبالت−60 داخل القسم تخضع لمعايير الحماية الإشعاعية الدولية، مما يعكس فعالية أنظمة التدريع والوقاية المعتمدة، مع ضرورة الاستمرار في المراقبة الدورية خاصة في النقاط التي سُجلت فيها القيم الأعلى.

4.7.3 قياس الإشعاع عند المسرع الخطي صنف Varian 2100 من دون وجود مصدر الكوبالت− 60

الجدول (7.3): قياسات الإشعاع عند المسرّع الخطي Varian 2100 في حالة عدم التشغيل

حالة الجهاز أثناء القياس	بدون تشغيل الجهاز بوحدة (µSv/h)			
نقطة القياس	القياس 1	القياس 2	القياس 3	المتوسط
عند الجهاز بالظبط	0.22	0.10	0.11	0.14
على بعد 1 متر من الجهاز	0.12	0.11	0.10	0.11
خلف الجدار الخرساني	0.14	0.13	0.16	0.14

عند باب الغرفة و هو مغلق	0.09	0.10	0.09	0.093

1.4.7.3 تحليل النتائج:

تُظهر نتائج قياسات الإشعاع عند المسرّع الخطي من صنف Varian 2100، في غياب مصدر الكوبالت−60 ومع عدم تشغيل الجهاز، أن مستويات الإشعاع المسجلة كانت منخفضة جداً وقريبة من قيم الخلفية الإشعاعية الطبيعية، مما يدل على سلامة بيئة العمل وفعالية نظام الحماية داخل مصلحة العلاج الإشعاعي. عند القياس:

* بالقرب المباشر من الجهاز:

سُجل متوسط قدره حوالي 0.14 µSv/h، وهي أعلى قيمة ضمن نقاط القياس المختلفة، ويُفسَّر ذلك بكون المنطقة الأقرب إلى الجهاز قد تحتفظ بتأثيرات طفيفة ناتجة عن المكونات الإلكترونية أو عن الخلفية الإشعاعية المحيطة، إلا أن هذه القيمة تبقى منخفضة جداً ولا تمثل خطراً إشعاعياً.

* على بعد متر واحد من الجهاز:

انخفض متوسط القياس إلى حوالي 0.11 µSv/h، ما يؤكد أن شدة الإشعاع تتناقص تدريجياً مع زيادة المسافة، حتى في حالة غياب مصدر إشعاعي فعّال. كما يدل هذا الانخفاض على عدم وجود أي تسرب إشعاعي مهم من هيكل الجهاز أو من محيطه.

* خلف الجدار الخرساني:

فقد بلغ متوسط القياس حوالي 0.14 µSv/h، وهي قيمة قريبة من تلك المسجلة قرب الجهاز، لكنها لا تزال ضمن الحدود الطبيعية للخلفية الإشعاعية. ويعكس ذلك فعالية التدريع الخرساني في عزل أي إشعاع محتمل داخل غرفة العلاج.

* عند باب الغرفة وهو مغلق:

سُجلت أدنى قيمة بمتوسط بلغ حوالي 0.093 µSv/h، ما يشير إلى كفاءة الباب الواقي في منع انتقال الإشعاع إلى خارج الغرفة، ويؤكد سلامة تصميم المنشأة من الناحية الوقائية.

بصفة عامة، تُبرز هذه النتائج أن المسرّع الخطي في حالة عدم التشغيل وغياب مصدر الكوبالت−60 لا يُصدر مستويات إشعاعية تُذكر، وأن القيم المقاسة تظل ضمن مستوى الخلفية الإشعاعية الطبيعية. كما تؤكد النتائج فعالية الحواجز الخرسانية والأبواب الواقية في ضمان حماية العاملين والوسط الخارجي من أي تعرض غير ضروري للإشعاعات المؤينة.

2.4.7.3 قياس حدود الجرعة السنوية(msv/years) للعاملين في قسم العلاج الإشعاعي باستخدام المسرع الخطي:

يُحسب معدل الجرعة السنوية بالعلاقة (**):

الجدول (8.3): معدل الجرعات الإشعاعية السنوية باستخدام المسرع الخطي مقارنة بالحدود الدولية

متوسط الجرعة المقيسة	0.11	0.14

معدل الجرعة msv/years	0.0132	0.0168

تُظهر النتائج أن جميع قيم الجرعات الإشعاعية منخفضة جدًا مقارنة بالحدود الدولية، وأعلى قيمة بقيت أقل من 1 mSv/year، مما يدل على التزام جيد بمعايير الحماية الإشعاعية وسلامة بيئة العمل.

8.3 تحليل نتائج الاستبيان:

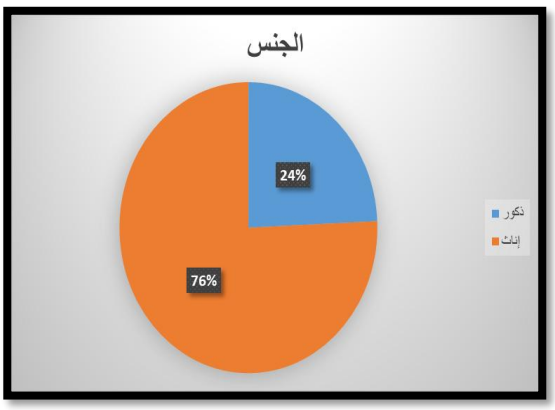
1.8.3 مقدمة:

الهدف من هذه الدراسة الميدانية هو التحقق من مدى تطبيق إجراءات الحماية للعمال في قسم الأشعة وضمان العمل في جو خالٍ من خطر التسرب الإشعاعي. تم زيارة مجموعة من المستشفيات والعيادات الخاصة للتقرب أكثر ومعرفة وعي العاملين بالخطر الإشعاع والتزامهم بتوصيات السلامة، وهذا من أجل تحقيق مكان عمل آمن وذلك عن طريق توفير أدوات الحماية الشخصية، وفحوصات دورية لأجهزة العمل والعمال على حدا سواء.

2.8.3 الموارد و الأساليب:

أُجريت دراسة مقطعية في بعض مستشفيات الوطن و العيادات(عامة وخاصة)، حيث تم اختيار عينة عشوائية مكونة من 140 عاملًا في مجال الإشعاع. جُمعت البيانات من خلال استبيانات مُهيكلة وفقا لستة محاور رئيسية(الاستبيان مرفق في الملحق). أُجري تحليل للبيانات المجمعة من الاستبيانات باستخدام توزيعات التكرار والجداول المتقاطعة.

تظهر النتائج أن عدد الإناث هو106 بنسبة 75,71%، أما عدد هو ذكور فكان 34 بنسبة 24,28 % كما هو موضح في الشكل(2.3)



الشكل (2.3): المشاركين في الاستبيان حسب الجنس

3.8.3 تحليل نتائج المحور الأول: بيانات عامة عن المشاركين

يوضح الجدول أسفله توزيع أفراد العينة المدروسة حسب الجنس والفئات العمرية، بهدف التعرف على الخصائص الديموغرافية للعاملين محل الدراسة.

الجدول(9.3): توزيع العينة حسب الجنس والفئة العمرية

الجنس	العمر (سنة)								المجموع	
	أقل من25 سنة		35_25 سنة		45_36 سنة		55_46 سنة			
	العدد	%	العدد	%	العدد	%	العدد	%	العدد	%
ذكور	11	32.35	11	32.35	9	26.47	3	8.82	34	100
إناث	55	51.88	27	25.47	20	18.38	4	3.77	106	100

يُظهر تحليل الجدول(9.3) توزيع أفراد العينة حسب الجنس والفئات العمرية، حيث يتبين أن الإناث يمثلن العدد الأكبر مقارنة بالذكور (106 مقابل 34). كما يلاحظ أن الفئة العمرية الأقل من 25 سنة هي الأكثر تمثيلاً لدى الإناث بنسبة 51.88%، في حين تتوزع بقية النسب بين الفئات 25–35 سنة و36–45 سنة و46–55 سنة بنسب أقل تدريجيًا.

أما عند الذكور، فنلاحظ أن التوزيع أكثر توازنًا نسبيًا بين الفئات العمرية، مع تسجيل أعلى نسبة في فئة 25–35 سنة وفئة أقل من 25 سنة (32.35% لكل منهما).

بشكل عام تشير النتائج إلى أن أغلب أفراد العينة من فئة الشباب، خاصة لدى الإناث مما يعكس طابعًا شبابيًا للقوى العاملة محل الدراسة.

4.8.3 تحليل نتائج المحور الثاني: سنوات الخبرة المهنية والجنس

يوضح الجدول(10.3) توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة المهنية والجنس، وذلك بهدف التعرف على مستوى الخبرة العملية لدى العاملين محل الدراسة ومدى تنوعها بين الفئات المختلفة.

الجدول(10.3): توزيع العينة حسب سنوات الخبرة والجنس

الجنس	سنوات الخبرة								المجموع	
	أقل من 1سنة		1- 5 سنوات		6- 10سنة		أكثر من 10 سنوات			
	العدد	%	العدد	%	العدد	%	العدد	%	العدد	%
ذكور	4	11.76	15	44.11	8	23.52	6	17.64	34	100

إناث	36	33.96	40	28.57	15	14.28	15	15.30	106	100

تُظهر نتائج الجدول أن أغلب أفراد العينة يتمتعون بخبرة مهنية تتراوح بين سنة واحدة و5 سنوات، حيث سجلت أعلى نسبة لدى الذكور بـ44.11% ولدى الإناث بـ28.57%، مما يدل على هيمنة فئة العاملين ذوي الخبرة المتوسطة.

نلاحظ ارتفاع نسبة الإناث اللواتي تقل خبرتهن عن سنة واحدة بـ33.96 % مقارنة بالذكور بـ11.76%، وهو ما يشير إلى وجود عدد معتبر من العاملات حديثات الالتحاق بالمهنة.

أما فئة الخبرة التي تفوق 10 سنوات فقد سجلت نسبًا متقاربة بين الجنسين، مما يعكس وجود كفاءات ذات خبرة طويلة داخل العينة المدروسة.

5.8.3 تحليل نتائج المحور الثالث: أقسام العمل وساعات العمل اليومية

يوضح الجدول(11.3) توزيع أفراد العينة حسب أقسام العمل وساعات العمل اليومية، وذلك بهدف التعرف على طبيعة بيئة العمل ومدى اختلاف مدة التعرض المهني بين العاملين في الأقسام الإشعاعية المختلفة.

الجدول (11.3): توزع العاملين في أقسام العمل وساعات عملهم

قسم العمل	العدد	%
الأشعة السينية التقليدية	98	70
التصوير المقطعي المحوسب(CT)	15	10.71
الأشعة السينية التقليدية والمقطعية (CT)	20	14.28
العلاج الإشعاعي	7	5
المجموع	140	100
ساعات العمل	العدد	%
أقل من 4 ساعات	11	7.85
4_ 6 ساعات	50	35.71
6_8 ساعات	50	35.71
أكثر من 8ساعات	29	20.71

تُظهر نتائج الجدول أن أغلب العاملين ينشطون في قسم الأشعة السينية التقليدية بنسبة 70%، يليه قسم الأشعة السينية التقليدية و الأشعة المقطعية معًا بنسبة 14.28%، ثم قسم الأشعة المقطعية بنسبة 10.71%، في حين سجل قسم العلاج الإشعاعي أقل نسبة بـ5%.

أما فيما يتعلق بساعات العمل، فقد تبين أن غالبية العاملين يعملون بين 4 و8 ساعات يوميًا بنسبة متساوية بلغت 35.71% لكل فئة، بينما بلغت نسبة من يعملون أكثر من 8 ساعات 20.71%، في حين سجلت أقل نسبة لدى العاملين أقل من 4 ساعات يوميًا بـ7.85%. وتشير هذه النتائج إلى أن أغلب العاملين يخضعون لفترات عمل متوسطة إلى طويلة، مما يستدعي الالتزام بإجراءات الوقاية الإشعاعية لتقليل التعرض المهني.

6.8.3 تحليل نتائج المحور الرابع: نوع الجهاز الإشعاعي المستخدم في العمل

يوضح الجدول (12.3) نوع الجهاز الإشعاعي المستخدم في العمل ومدى قرب العاملين منه أثناء أداء مهامهم، بهدف إبراز طبيعة التعرض المهني للإشعاع داخل مختلف أقسام الدراسة.

الجدول(12.3): نوع الجهاز الإشعاعي والقرب منه أثناء العمل

العمل قرب الأجهزة الإشعاعية	العدد	%
نعم	82	58.57
أحيانا	50	35.71
نادرا	8	5.71
المجموع	140	100
نوع جهاز العمل	العدد	%
أشعة سينية تقليدية	91	65
الاشعة المقطعية	21	15
أشعة سينية و المقطعية	22	15.71
علاج إشعاعي	3	2.14
طب نووي	1	0.71
أخرى	2	1.42

تُبين النتائج أن أغلب العاملين (58.57%) يشتغلون بشكل مباشر وقريب من الأجهزة الإشعاعية، في حين صرّح 35.71% بأنهم يكونون أحيانًا قربها، بينما لا يتعرض سوى 5.71% بشكل نادر لهذا القرب. تعكس هذه النتائج أن نسبة معتبرة من أفراد العينة معرضة بدرجة متوسطة إلى مرتفعة لمصادر الإشعاع أثناء العمل.

تُظهر أن الأشعة السينية التقليدية تمثل الجهاز الأكثر استخدامًا بنسبة 65%، تليها أجهزة الأشعة المقطعية بنسبة 15%، ثم استخدام مشترك بين الأشعة السينية و المقطعية بنسبة 15.71%، بينما تسجل

تقنيات العلاج الإشعاعي والطب النووي نسبًا ضعيفة جدًا. ويعكس ذلك هيمنة تقنيات التصوير الشعاعي التقليدي داخل بيئة العمل المدروسة.

7.8.3 تحليل نتائج المحور الخامس: سلوكيات الحماية من الإشعاع لدى العاملين

يوضح الجدول(13.3) سلوكيات الحماية من الإشعاع لدى العاملين من خلال مدى بقائهم داخل غرفة الفحص أثناء التشغيل، والمسافة بينهم وبين الجهاز، ومدى توفر الحواجز الرصاصية، بهدف تقييم مستوى الالتزام بإجراءات الوقاية الإشعاعية.

الجدول(13.3): ممارسات الحماية الإشعاعية أثناء العمل

البقاء داخل غرفة الفحص أثناء التشغيل	العدد	%
دائما	65	46.42
أحيانا	41	29.28
لا	34	24.28
المسافة بين التقني والجهاز	العدد	%
أقل من 1متر	51	36.42
1- 2 متر	76	54.28
أكثر من 2متر	13	9.28
وجود حواجز رصاصية	العدد	%
نعم دائما	113	80.71
أحيانا	25	17.85
لا	2	1.42

تُبرز النتائج أن 46.42% من العاملين يبقون دائمًا داخل غرفة الفحص أثناء التشغيل، بينما 29.28% يبقون أحيانًا، في حين أن 24.28% لا يبقون داخلها، مما يشير إلى تباين في ممارسات السلامة أثناء التعرض للإشعاع.

أما فيما يخص المسافة بين التقني والجهاز، فقد تبين أن أغلب العاملين (54.28%) يشتغلون على مسافة تتراوح بين 1 و2 متر، في حين يعمل 36.42% على مسافة أقل من 1 متر، بينما 9.28% فقط يعملون على مسافة تفوق 2 متر، وهو ما يعكس تقاربًا نسبيًا مع مصادر الإشعاع لدى نسبة معتبرة من العينة. أما فيما يتعلق بالحواجز الرصاصية، فقد أظهرت النتائج أن 80.71% من العاملين يتوفر لديهم هذا النوع من الحماية بشكل دائم، مقابل 17.85% أحيانًا، و1.42% فقط لا تتوفر لديهم، مما يدل على توفر جيد نسبيًا لوسائل الوقاية الهندسية داخل بيئة العمل.

8.8.3 وسائل الوقاية الإشعاعية:

في الوقت الحالي تم تطوير العديد من المصادر المشعة التي تُستخدم في المجالات الطبية المختلفة، ورغم أهميتها الكبيرة في التشخيص والعلاج، إلا أن هذه المصادر قد تُرافقها آثار ضارة على الإنسان والبيئة عند سوء الاستخدام أو غياب إجراءات الحماية المناسبة. ومن هنا برزت الحاجة إلى تطوير أساليب وتقنيات حديثة للتعامل الآمن مع المصادر الإشعاعية، بهدف الحد من آثارها السلبية وضمان الوقاية الفعالة للعاملين والمرضى[6].

تُظهر نتائج الدراسة، من بين 140 عينة من عمال قسم الأشعة، يخضع هؤلاء العمال لفحوصات دورية كل ثلاثة أشهر وفقًا للوائح اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع، ويلتزمون عمومًا بارتداء أجهزة الكشف الشخصية أثناء العمل. ومع ذلك، لوحظ وجود بعض التهاون في ارتداء المئزر الرصاصي بسبب ثقله وصعوبة استخدامه المستمر.

بينت الدراسة أن العديد من العاملين يزاولون العمل لساعات تفوق الوقت المحدد، رغم أن معايرة أجهزة الأشعة السينية ومسح الإشعاع في أماكن العمل يتم بشكل منتظم. وقد تبين من خلال الزيارات الميدانية للمستشفيات والعيادات الخاصة أن العاملين يمتلكون مستوى جيدًا من الوعي بأساسيات الحماية الإشعاعية، إلا أن هذا الوعي لا يترجم دائمًا إلى التزام كامل بالتوصيات والمعايير الدولية الخاصة بالوقاية الإشعاعية.

9.8.3 تقييم إجراءات الحماية في قسم المستشفى:

يهدف الجدول(14.3) إلى تقييم مستوى تطبيق إجراءات الحماية الإشعاعية داخل قسم المستشفى من خلال آراء العاملين، وذلك بالاعتماد على سلم تقييم يتراوح من 1 (ضعيف) إلى 5 (ممتاز). ويشمل التقييم عدة جوانب أساسية تتمثل في توفر وسائل الحماية، مراقبة الجرعات، الصيانة الدورية للأجهزة، والتكوين في الوقاية من الإشعاع.

الجدول(14.3): تقييم مستوى تطبيق إجراءات الحماية الإشعاعية في قسم المستشفى

	1	2	3	4	5
توفر وسائل الحماية	20.14	25.89	23.02	16.42	14.38
مراقبة الجرعات	28.05	22.30	17.26	22.30	10.07
الصيانة الدورية للأجهزة	33.81	19.42	18.70	17.98	10.07
التكوين في الوقاية	48.92	25.89	15.82	5.71	3.59

تُظهر نتائج تقييم إجراءات الحماية في قسم المستشفى أن معظم عناصر السلامة الإشعاعية حظيت بتقييمات ضعيفة إلى متوسطة، مما يعكس وجود نقائص في تطبيق إجراءات الوقاية. فقد تبين أن توفر

وسائل الحماية ومراقبة الجرعات لا يزالان دون المستوى المطلوب، مع انخفاض واضح في نسب التقييم الممتاز.

سجلت الصيانة الدورية للأجهزة تقييماً ضعيفاً لدى نسبة معتبرة من العاملين، ما يشير إلى عدم انتظام عمليات الصيانة. في حين عُدّ التكوين في الوقاية من الإشعاع أضعف الجوانب، بسبب ارتفاع نسبة التقييمات المنخفضة جداً، وهو ما يدل على الحاجة إلى تعزيز برامج التدريب والتوعية لتحسين ثقافة الحماية الإشعاعية داخل القسم.

10.8.3 الأسئلة المفتوحة:

اعتمدت الدراسة في هذا المحور على أسئلة مفتوحة موجهة إلى العاملين في قسم الأشعة بهدف التعرف على آرائهم وخبراتهم الميدانية حول مصادر التسرب الإشعاعي داخل القسم، والإجراءات المقترحة للحد منه، إضافة إلى تقييم أهمية القياسات الدورية باستخدام أجهزة القياس. وقد تم تجميع الإجابات وتحليلها من أجل استخلاص أهم الاتجاهات العامة المتعلقة بثقافة السلامة الإشعاعية في بيئة العمل.

1. أهم مصادر التسرب: أشار العاملون إلى عدة مصادر محتملة للتسرب الإشعاعي داخل أقسام الأشعة، تمثلت أساسًا في:

* آلة التصوير والأجهزة القديمة.
* خلل في جهاز الأشعة وخاصة الأنبوب (Tube).
* عدم الصيانة الدورية للأجهزة.
* كثرة استخدام الجهاز وزيادة عدد الفحوصات.
* الأشعة المتشتتة والمنعكسة من المريض أو من الجدران والطاولة والسقف.
* الكولماتور (Collimator).
* الجدران غير المعزولة جيدًا، والأبواب والنوافذ غير المحمية بالرصاص.
* حوادث المشاءات الطبية وأخطاء التشغيل.
* عدم احترام قواعد الحماية الإشعاعية.

2. الإجراءات التي تقترحها لتقليل من الجرعة المتسربة: اقترح العاملون مجموعة من التدابير الوقائية للحد من التعرض للإشعاع، أهمها:

* توفير وسائل الحماية الفردية كالمئزر الرصاصي.
* إجراء صيانة دورية ومنتظمة للأجهزة.
* المراقبة اليومية المستمرة للإشعاع.
* احترام مسافة الأمان وتقليل زمن التعرض.
* مراقبة الجرعات الإشعاعية باستمرار.

* تطبيق مبدأ ALARA للحد من الجرعات قدر الإمكان.
* الترصيص الجيد للجدران والأبواب والنوافذ.
* تقليل مجال النافذة الإشعاعية للعضو المدروس.
* احترام ثوابت وتقنيات التصوير الإشعاعي.
* توفير عداد جيجر–مولر للكشف عن التسرب.
* التكوين الجيد للكوادر الطبية وتحديد ساعات العمل وعدد المرضى.

3. هل ترى أن القياسات الدورية باستخدام أجهزة القياس ضرورية ولماذا؟: أكد أغلب العاملين أن القياسات الدورية ضرورية، وعللوا ذلك بما يلي:

* الكشف المبكر عن الإشعاع المتسرب ومستويات الخطر الإشعاعي.
* حماية العاملين والمرضى من المضاعفات الإشعاعية، خاصة على العين والأعضاء التناسلية.
* التأكد من سلامة الأجهزة وكفاءة عملها.
* مراقبة الجرعات الإشعاعية وتقييم الجرعة الممتصة.
* تحديد شروط العمل الآمنة وضمان تطبيق قواعد الحماية.
* المساهمة في التوعية بمخاطر التسرب الإشعاعي.
* دعم التفقد الدوري باستخدام شارة الفيلم وغيرها من وسائل القياس الإشعاعي.

11.8.3 مناقشة عدم اليقين في القياس:

في هذه المناقشة يتم التطرق إلى مدى الثقة في النتائج المتحصل عليها، حيث إن القياسات الإشعاعية في هذه الدراسة تخضع لعدم اليقين الناتج عن عدة عوامل متداخلة. من أهمها دقة جهاز القياس، إذ إنه دقيق إلى حدّ ما لكنه لا يصل إلى الدقة المطلقة (100%)، كما يمكن ملاحظة اختلاف طفيف في القراءات عند تكرار القياس في نفس الظروف وعلى نفس المسافة.

إضافة إلى ذلك، تؤثر الخلفية الإشعاعية على النتائج، والتي يجب أخذها بعين الاعتبار في كل قياس، كونها تمثل الإشعاع الطبيعي الموجود في البيئة من مصادر أرضية وكونية. ولا يمكن إغفال العامل البشري الذي قد يساهم في إدخال بعض الأخطاء أثناء قراءة النتائج أو أثناء استعمال الجهاز، مثل عدم تثبيت طريقة القياس أو سوء تقدير القيم الدقيقة.

كما أن هناك عوامل تقنية أخرى مثل تغير المسافة أو زاوية القياس أو عدم ثبات وضعية الجهاز أثناء القياس، والتي قد تؤثر بدورها على دقة النتائج. ورغم هذه المحددات، فإن هذه العوامل لا تُفقد القياسات قيمتها العلمية، بل توضح أن النتائج ليست مطلقة الدقة، وإنما ذات دلالة معتبرة يمكن الاعتماد عليها في تقييم وجود تسرب إشعاعي واتخاذ الإجراءات الوقائية اللازمة للحد من مخاطره.

مراجع الفصل الثالث

[1] اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية، "الوقاية الإشعاعية في الإجراءات الفلورية الإرشادية المتبعة خارج أقسام التصوير الإشعاعي"، التقرير رقم 117 من إصدارات اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية، أكتوبر 2011.

[2] خالد هادي مهدي وآخرون، "دليل المصادر الإشعاعية للعامين"، 2015–2016، دائرة البحث والتطوير، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، العراق، 2016

[3] إيمان مطر الشمري، جيهان مطر الشمري، *"الطب النووي"*، الطبعة الأولى، 2016، المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية(ACMLS)، ردمك: 978-99966-34-96-3.

[4] مصطفى محمد عبد المهدي المجالي، "الوقاية الإشعاعية: المبادئ والتطبيقات"، عمّان، الأردن، الدار المتقدمة للنشر والتوزيع.

[5] S. Ahmed, "Physics &Engineering of Radiation Detection", Academic Press, First edition,2007.

[6] R. John Turner, "Atoms, Radiation, and Radiation Protection", Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2007

خاتمة عامة

في هذه المذكرة تم التوصل إلى عرض شامل ومتكامل لمختلف الجوانب المتعلقة بالإشعاع المؤين من حيث أساسياته وخصائصه، مصادره وتصنيفاته، إضافة إلى الجرعات الإشعاعية ووحدات قياسها وآليات التفاعل بين الإشعاع والمادة.

تم التطرق إلى أهم التأثيرات البيولوجية الناتجة عن التعرض للإشعاع، سواء الحتمية أو العشوائية، مع تحليل المسارات الحيوية لدخول المواد المشعة إلى جسم الإنسان وتأثيرها على الخلية في مراحلها المختلفة. وقد أبرزت الدراسة كذلك أهمية الوقاية الإشعاعية من خلال تطبيق مبادئ التبرير والتحسين والالتزام بحدود الجرعات، إلى جانب اعتماد العوامل الأساسية للحماية مثل الزمن والمسافة والدروع، وفق ما توصي به الهيئات الدولية المختصة.

بناءً على ذلك، يتضح أن التحكم في المخاطر الإشعاعية لا يعتمد فقط على الجانب التقني، بل يتطلب أيضًا تعزيز الوعي المهني والالتزام الصارم بإجراءات السلامة لضمان حماية العاملين والمرضى والبيئة من الآثار الضارة للإشعاع.

كما تم عرض صورة شاملة حول تقنيات العلاج بالأشعة وأنواعه المختلفة، بدءًا بالعلاج الإشعاعي الخارجي بمختلف تطوراته التقنية مثل العلاج ثلاثي الأبعاد المطابق، العلاج المعدل الشدة، العلاج التجسيمي والجراحة الإشعاعية، وصولًا إلى العلاج الداخلي (الموضعي) والعلاج الجهازي القائم على استخدام النظائر المشعة.

تم التطرق إلى أهم الأجهزة المستخدمة في هذه العلاجات، سواء في العلاج الخارجي مثل المسرعات الخطية والكوبالت−60 وتقنيات الغاما نايف والسيبرنايف، أو في العلاج الداخلي عبر أنظمة التحميل اللاحق والقساطر والمطبقات والغرسات المختلفة. وقد أبرزت هذه المعطيات التطور الكبير الذي عرفه مجال العلاج الإشعاعي من حيث الدقة والفعالية وتقليل التأثيرات الجانبية، مما جعله أحد الركائز الأساسية في علاج الأورام الحديثة.

بناءً على ذلك يتضح أن نجاح العلاج الإشعاعي يعتمد على التكامل بين التقنيات المتقدمة، دقة الأجهزة، والخبرة الطبية، بما يضمن تحقيق أفضل النتائج العلاجية مع الحفاظ على سلامة المريض.

تم تقديم دراسة ميدانية شاملة هدفت إلى تقييم مستويات الإشعاع المتسرب داخل أقسام الأشعة بمختلف أنواعها، إلى جانب تحليل واقع ممارسات الحماية الإشعاعية لدى العاملين. وقد شملت الدراسة

تحديد أهداف واضحة، ووصفًا دقيقًا لمكان البحث الذي يضم قسم التصوير الطبي وقسم العلاج بالأشعة، إضافة إلى خصائص عينة العاملين المعنيين بالدراسة.

لقد تم قياس الإشعاع بجهاز RadEye G-10 مع توضيح خصائصه وحدوده، ووضع بروتوكول قياس دقيق شمل نقاط القياس، المسافات، زمن القياس، وحالة تشغيل الأجهزة.

على مستوى القياسات الميدانية، تم تحليل الإشعاع المتسرب داخل غرف الأشعة السينية، وأجهزة السكانر، ومصلحة العلاج الإشعاعي باستخدام الكوبالت–60، إضافة إلى المسرع الخطي، مع مقارنة النتائج بالحدود المهنية المعتمدة وتقدير الجرعات السنوية للعاملين.

كما تناولت الدراسة تحليلًا إحصائيًا لنتائج الاستبيان الذي شمل مختلف محاور البيانات العامة، الخبرة المهنية، طبيعة العمل، نوع الأجهزة المستخدمة، وسلوكيات الحماية الإشعاعية، إلى جانب تقييم وسائل الوقاية وإجراءات الحماية داخل القسم.

بشكل عام، تؤكد النتائج:

1. أن غرف الأشعة السينية توفر حماية جيدة في حالة عدم التشغيل، بينما يبقى التعرض مرتبطاً أساساً بلحظة إطلاق الأشعة وبمستوى التشتت داخل الغرفة، وهو ما يستدعي الالتزام الصارم بإجراءات الحماية والتموضع الصحيح للعاملين أثناء الفحص الإشعاعي.

2. رغم ارتفاع القيم أثناء التشغيل مقارنة بالخلفية الإشعاعية، فإنها تبقى محدودة نسبياً، مما يعكس فعالية الحواجز الواقية والزجاج الرصاصي في تخفيض التعرض للعاملين داخل غرفة التحكم. كما تؤكد النتائج أهمية بقاء الطاقم الطبي خلف الحواجز الواقية والالتزام بمبادئ الوقاية الإشعاعية، خاصة أثناء تشغيل جهاز السكانار الذي يُعد من الأجهزة ذات الجرعات الإشعاعية الأعلى مقارنة بالأشعة السينية التقليدية.

3. بصفة عامة، تؤكد النتائج أن نظام الحماية الإشعاعية في مصلحة العلاج بالكوبالت–60 فعّال، حيث تنخفض مستويات الإشعاع بشكل واضح مع زيادة المسافة ووجود الحواجز الخرسانية والأبواب الواقية. كما تُبرز النتائج أهمية الالتزام بمبادئ الوقاية الإشعاعية الأساسية، خاصة مبدأي المسافة والتدريع، للحد من تعرض الطاقم الطبي للإشعاعات المؤينة.

4. تُبرز النتائج أن المسرّع الخطي في حالة عدم التشغيل وغياب مصدر الكوبالت–60 لا يُصدر مستويات إشعاعية تُذكر، وأن القيم المقاسة تظل ضمن مستوى الخلفية الإشعاعية الطبيعية. كما تؤكد النتائج فعالية الحواجز الخرسانية والأبواب الواقية في ضمان حماية العاملين والوسط الخارجي من أي تعرض غير ضروري للإشعاعات المؤينة.

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة
كلية الرياضيات و علوم المادة
قسم الفيزياء

استبانه مفصلة حول دراسة جرعة الإشعاع المتسربة من الأجهزة الطبية و تأثيرها على العاملين

السادة والسيدات الأفاضل: يشرفني أن أتقدم إلى سيادتكم المحترمة بهذه الإستبانه التي تدخل ضمن متطلبات ماستر أكاديمي – فيزياء طبية والموسومة بعنوان: "**دراسة الجرعة الإشعاعية المتسربة من الأجهزة الطبية باستخدام عداد جايجر–مولر وتأثيرها على العاملين في الأقسام الإشعاعية**". أعلمكم أن الإجابات المقدمة من طرفكم ستحظى لدينا بالأهمية البالغة، و بالسرية التامة و لن تستخدم إلا لأغراض البحث العلمي فقط. نشكركم جزيلا على مساهمتكم الجادة بالإجابة على العبارات المرفقة وبصراحة تامة. **و لكم منا كل الشكر و التقدير.**

الرجاء وضع علامة X في الخانة المناسبة.

القسم الأول: البيانات العامة للمشارك

1. الجنس:
   ذكر ☐
   أنثى ☐
2. العمر:
   ☐ أقل من 25 سنة
   ☐25–35 سنة
   ☐36–45 سنة
   ☐46–55 سنة
   ☐أكثر من 55 سنة
3. المهنة:
   ☐ طبيب أشعة
   ☐ تقني أشعة
   ☐ فيزيائي طبي
   ☐ ممرض
   ☐ أخرى: .....
4. سنوات الخبرة في العمل الإشعاعي:
   ☐ أقل من 1 سنة
   ☐1-5 سنوات
   ☐ 6-10 سنوات
   ☐ أكثر من 10 سنوات
5. القسم الذي تعمل به:
   ☐ الأشعة التقليدية؛ قسم التصوير بالأشعة السينية (X-ray) أو قسم الأشعة العامة

   ☐ السكانير(CT)
   ☐ الطب النووي
   ☐ العلاج الإشعاعي

☐ قسطرة/تداخل إشعاعي
☐ أخرى: .....

6. عدد ساعات العمل اليومية في القسم الإشعاعي:
☐ أقل من 4 ساعات
☐ 4-6 ساعات
☐ 6-8 ساعات
☐ أكثر من 8 ساعات

القسم الثاني: التعرض المهني للإشعاع

7. هل تعمل بالقرب من أجهزة إشعاعية بشكل يومي؟
☐ نعم
☐ أحيانًا
☐ نادرًا
8. ما نوع الأجهزة التي تتعامل معها؟
☐ أشعة سينية تقليدية
☐ CT
☐ فلوروسكوبي؛ (Fluoroscopy) أو التنظير التألقي هو تقنية تصوير طبي تستخدم الأشعة السينية بشكل مستمر أو شبه مستمر لإظهار صورة متحركة مباشرة (Live) للأعضاء الداخلية على شاشة، أي أنه يشبه "فيلم أشعة" وليس صورة ثابتة فقط.
☐ أجهزة علاج إشعاعي(Radiotherapy Devices)؛ أمثلة: جهاز المعجّل الخطي (LINAC) ، العلاج الإشعاعي الخارجي ، العلاج الإشعاعي الموضعي (Brachytherapy) ....
☐ أجهزة طب نووي مثل: كاميرا غاما(Gamma Camera) ، جهازSPECT ، جهازPET
☐ أخرى: .....
9. هل تبقى داخل غرفة الفحص أثناء التشغيل؟
☐دائمًا
☐أحيانًا
☐لا
10. المسافة التقريبية بينك وبين الجهاز أثناء التشغيل:
☐ أقل من 1 متر
☐1-2 متر
☐ أكثر من 2 متر
11. هل توجد حواجز رصاصية بينك وبين الجهاز؟
☐ نعم دائمًا
☐ أحيانًا
☐ لا

القسم الثالث: وسائل الوقاية الإشعاعية

12. هل ترتدي شارة قياس الجرعة الشخصية(Dosimeter) ؟
☐ نعم دائمًا
☐ أحيانًا
☐ لا
13. نوع الدوسيميتر المستخدم:
☐ TLD
☐ إلكتروني
☐ لا أعلم
14. هل يتم تحليل الشارة بانتظام؟
☐شهريًا

☐كل 3 أشهر
☐نادرًا
☐لا أعلم

15. هل ترتدي وسائل الحماية؟(يمكن اختيار أكثر من إجابة)

☐ المئزر الرصاصي الواقي
☐ واقي الغدة الدرقية
☐ نظارات رصاصية
☐ قفازات رصاصية
☐ لا أستخدم

16. مدى الالتزام بوسائل الحماية:
☐ دائمًا
☐ غالبًا
☐ أحيانًا
☐ نادرًا

القسم الرابع: معرفة العاملين بالجرعة المتسربة

17. هل تعتقد بوجود جرعة إشعاعية متسربة من الأجهزة؟
☐نعم
☐لا
☐لا أعلم
18. هل تم قياس الجرعة المتسربة في قسمكم سابقًا؟
☐نعم
☐لا
☐لا أعلم
19. هل يوجد في القسم عداد جايجر–مولر لقياس التسرب؟
☐نعم
☐لا
☐لا أعلم
20. هل سبق أن شاركت في قياس الجرعة المتسربة؟
☐نعم
☐لا
21. تقييمك لمستوى التسرب الإشعاعي في القسم:
☐ضعيف
☐متوسط
☐مرتفع
☐لا أعلم

القسم الخامس: التدريب والثقافة الإشعاعية

22. هل تلقيت تكوينًا في الوقاية من الإشعاع؟
☐نعم
☐لا
23. عدد الدورات التي حضرتها:
☐1
☐2-3
☐أكثر من 3

24. هل تعرف حدود الجرعة المهنية السنوية؟
□نعم
□لا
25. هل تعرف مبدأALARA ؟
□نعم
□لا
26. هل توجد لافتات تحذيرية في القسم؟
□نعم
□لا

القسم السادس: التأثيرات الصحية المحتملة

27. هل تشعر بقلق من التعرض المزمن للإشعاع؟
□نعم
□لا
28. هل عانيت من أعراض تعتقد أنها مرتبطة بالعمل الإشعاعي؟
□صداع
□تعب
□توتر
□لا شيء
29. هل تجري فحوصات طبية دورية؟
□نعم
□لا
30. هل تعتقد أن الجرعة المتسربة قد تؤثر على العاملين؟
□نعم
□لا
□ربما

القسم السابع: تقييم إجراءات الحماية في قسم المشفى

قيّم من 1 إلى 5 (1 ضعيف – 5 ممتاز)

التقييم	العنصر
توفر وسائل الحماية	□1 □2 □3 □4 □5
مراقبة الجرعات	□1 □2 □3 □4 □5
الصيانة الدورية للأجهزة	□1 □2 □3 □4 □5
التكوين في الوقاية	□1 □2 □3 □4 □5

القسم الثامن: أسئلة مفتوحة

31. ما أهم مصادر التسرب الإشعاعي في رأيك؟
.....
32. ما الإجراءات التي تقترحها لتقليل الجرعة المتسربة؟
.....
33. هل ترى أن القياسات الدورية باستخدام عداد جايجر–مولر ضرورية؟ ولماذا؟
.....

شكراً لمساهمتك، تعاونك ثمين لإنجاح هذا العمل البحثي.

المختصر

تم التطرق إلى أهم الجوانب المتعلقة بالإشعاع المؤين من حيث خصائصه، تأثيراته البيولوجية، وطرق الوقاية منه، إضافة إلى عرض مختلف تقنيات العلاج الإشعاعي والأجهزة المستعملة فيه. كما شملت الدراسة جانبًا ميدانيًا لتقييم مستويات الإشعاع المتسرب داخل أقسام الأشعة والعلاج الإشعاعي باستعمال جهاز RadEye G-10، مع تحليل واقع ممارسات الحماية الإشعاعية لدى العاملين.

أظهرت النتائج أن مستويات الإشعاع المقاسة تبقى عمومًا ضمن الحدود المهنية المسموح بها، مما يعكس فعالية وسائل التدريع والحماية المعتمدة داخل الأقسام المدروسة، خاصة مع احترام مبادئ الوقاية الإشعاعية الأساسية كالمسافة والزمن والدروع الواقية.

بينت الدراسة أهمية الالتزام المستمر بإجراءات السلامة والتكوين الدوري للعاملين من أجل الحد من مخاطر التعرض للإشعاعات المؤينة وضمان حماية العاملين والمرضى والبيئة.

كلمات مفتاحية:

الإشعاع المؤين، الحماية الإشعاعية، الجرعات الإشعاعية، العلاج الإشعاعي، قياس الإشعاع.

Abstract

This study addressed the main aspects of ionizing radiation, including its properties, biological effects, and protection methods, as well as an overview of radiotherapy techniques and the equipment used. It also included a field assessment of radiation leakage levels in radiology and radiotherapy departments using a RadEye G-10 device, alongside an analysis of radiation protection practices among staff.

The results showed that the measured radiation levels generally remain within the permitted occupational limits, reflecting the effectiveness of the shielding and protection measures adopted in the studied departments, particularly the application of basic radiation protection principles such as time, distance, and shielding.

The study highlights the importance of continuous adherence to safety procedures and regular staff training to minimize the risks of exposure to ionizing radiation and ensure the protection of workers, patients, and the environment.

Keywords: Ionizing radiation, radiation protection, radiation doses, radiotherapy, radiation measurement.