الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة قاصـــــدي مرباح - ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء

مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات شهادة الماستر أكاديمي
ميدان: علوم المادة
الشعبة: فيزياء
تخصص: فيزياء طبية

من اعداد الطالبتين:
كدوي آية
عواريب صفاء

عنوان المذكرة

تأثير نبضات الليزر على العينة البيولوجية (كبد الدجاج)

نوقشت علنا بتاريخ 2026/06/03
أمام اللجنة المكونة من السادة

فقيه عبد العالي	أستاذ محاضر "أ"	قاصدي مرباح– ورقلة	رئيسا
عياط زهية	أستاذ محاضر "أ"	قاصدي مرباح– ورقلة	مناقشا
بن مبروك لزهر	أستاذ التعليم العالي	قاصدي مرباح– ورقلة	مشرفا ومقررا

الموسم الجامعي:2026/2025

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتمّ الصالحات والذي وفقنا لإتمام هذا العمل، فله الحمد أولًا وآخرًا.

نتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف بن مبروك لزهر، الذي لم يبخل علينا بتوجيهاته القيّمة ونصائحه السديدة، وكان لدعمه ومرافقته طيلة إنجاز هذه المذكرة الأثر الكبير في إتمامها على هذا النحو.

كما نتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى الأستاذة عياط زهية، على تفضلها بقبول مناقشة هذا العمل، وعلى ملاحظاتها القيمة التي من شأنها إثراء هذا البحث.

ولا يفوتنا أن نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى الأستاذ فقيه عبد العالي، على تكرمه بترأس لجنة المناقشة، وعلى اهتمامه وتقييمه لهذا العمل.

ونخص بالشكر مخبر الاشعاع والبلازما وفيزياء السطوح على توفير الإمكانيات والظروف المناسبة التي ساهمت في إنجاز الجانب التحريبي من هذه الدراسة.

كما نعبّر عن عميق امتناننا لكل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة، من أساتذة وزملاء، ولكل من قدّم لنا يد العون والدعم خلال مسيرتنا الدراسية.

وفي الأخير، نرجو أن يكون هذا العمل في مستوى التطلعات، وأن يحقق الفائدة المرجوة.

إهداء

الحمد لله على هدايته وفضله.

الى أولئك الذين لا حدود لعطائهم .

إلى أبي العزيز إبراهيم ، الذي كان سندي الدائم ومصدر قوتي والذي علّمني معنى الصبر والاجتهاد، فكان حضوره في حياتي دافعًا لي لمواصلة الطريق بثبات وثقة,

إلى أمي الغالية رقية ، نبع الحنان والعطاء التي لم تبخل عليّ بدعائها وتشجيعها، وكانت دائمًا النور الذي يضيء دربي ويمنحني الأمل في أصعب اللحظات,

هذا النجاح هو لكم قبل ان يكوم لي , فلولا دعاؤكم وصبركم وتضحياتكم ,لما وصلت الى ما انا عليه اليوم .

إلى إخوتي الأعزاء الذين وقفوا إلى جانبي وساندوني بكل حب وإخلاص وكانوا خير عون لي في هذه المسيرة: رضوان، عفاف، مريم، عبد السميع، وفاء، هاجر وسارة، إضافة الى زوج اختي عمر لكم مني كل الشكر والتقدير على دعمكم المستمر.

ولا أنسى صديقتي المقرّبة ورفيقة دربي و شريكتي في المذكرة كدوي آية، التي شاركتني مشوار الدراسة بكل تفاصيله وكانت سندًا حقيقيًا لي في لحظات التعب والنجاح فكان وجودها إلى جانبي مصدر راحة وقوة.

إليكم جميعًا، أهدي هذا العمل المتواضع عربون محبة وامتنان راجية أن أكون قد وفيت جزءًا بسيطًا مما قدمتموه لي من دعم وتشجيع.

صفاء عواريب

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

أهدي ثمرة جهدي المتواضع وخلاصة مشواري الدراسي بكل حب وامتنان:

إلى نبع الحنان ومصدر الأمان.. أمي الحبيبة قمرة طاهرين، التي كان دعاؤها يرافقني في كل خطوة وصبرها وقوتها سرّ استمراري فلكِ كل الحب والوفاء.

إلى أبي الغالي محمد كدوي الذي كان له الفضل الكبير، فله مني أسمى عبارات الشكر والامتنان.

إلى إخوتي وأخواتي الغاليين.. مريم ملاك الصغيرة، مزيان أخي و حبيبي،

نور إيمان أختي الغالية ، وأميرة العزيزة ، أنتم دفء قلبي وسعادتي وبكم تكتمل فرحتي.

إلى رفيقة دربي في مشواري الدراسي صفاء عواريب التي شاركتني تفاصيل الطريق بحلوها ومرّها فكنتِ خير صديقة.

إلى كل من دعمني من قريب أو بعيد أهدي هذا العمل المتواضع راجيةً من الله أن يجعله بداية لمستقبل مشرق مليء بالنجاح والتوفيق.

آية كدوي

ملخص الدراسة: يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير نبضات أشعة الليزر على الأنسجة البيولوجية من خلال تطبيق تجريبي على عينات من كبد الدجاج. تم تحضير ثلاث عينات متساوية الكتلة حيث اعتُمدت عينة شاهدة في حين عُرضت العينتان الأخريان لأشعة الليزر بترددين مختلفين (1Hzو 50Hz) لمدة خمس دقائق.

خضعت جميع العينات لتحليل باستخدام تقنية التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) من أجل الكشف عن التغيرات في البنية الجزيئية خاصة على مستوى مجال البصمة الطيفية. وقد أظهرت النتائج وجود تغيرات طيفية متفاوتة حيث كانت أقل وضوحًا عند التردد المنخفض وأكثر بروزًا عند التردد المرتفع مما يعكس تأثير تردد الليزر على التركيب الكيميائي للنسيج.

في المقابل، بينت التحاليل الميكروبيولوجية عدم وجود اختلاف بين العينات حيث سُجلت نتائج مطابقة للمعايير مما يدل على أن التعريض لليزر في هذه الظروف لم يؤثر على الجودة الميكروبيولوجية.

وعليه يبرز هذا العمل فعالية تقنية FTIR في دراسة تأثير الليزر على الأنسجة البيولوجية مع التأكيد على أن التغيرات المسجلة كانت بنيوية دون تأثير ميكروبيولوجي ملحوظ.

الكلمات المفتاحية: ليزر، كبد دجاج، FTIR، بصمة طيفية، تردد، تحاليل ميكروبيولوجية.

Abstract:

This work aims to study the effect of laser pulses radiation on biological tissues through an experimental application on chicken liver samples. Three samples of equal mass were prepared, with one sample serving as a control while the other two were exposed to laser beams at two different frequencies (1 Hz and 50 Hz) for five minutes.

All samples were analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to detect changes in the molecular structure particularly at the level of the spectral fingerprint region. The results showed different spectral variations where they were less pronounced at low frequency and more pronounced at high frequencyreflecting the influence of laser frequency on the chemical composition of the tissue.

In contrast, microbiological analyses showed no difference between the samples with results compliant with standards indicating that laser exposure under these conditions did not affect microbiological quality.

Thus, this work highlights the effectiveness of the FTIR technique in studying the effect of laser on biological tissues while confirming that the observed changes are structural in nature without a notable microbiological effect.

Keywords: laser, chicken liver, FTIR, spectral fingerprint, frequency, microbiological analyses.

Résumé:

Ce travail vise à étudier l'effet des impulsions du rayonnement laser sur les tissus biologiques par le biais d'une application expérimentale sur des échantillons de foie de poulet. Trois échantillons de masse égale ont été préparés : l'un servant de témoin, tandis que les deux autres ont été exposés à des faisceaux laser à deux fréquences différentes (1 Hz et 50 Hz) pendant une durée de cinq minutes.

Tous les échantillons ont été analysés à l'aide de la technique de spectroscopie infrarouge (FTIR) afin de détecter les modifications de la structure moléculaire notamment au niveau de la région d'empreinte spectrale. Les résultats ont montré des variations spectrales différentes où elles étaient moins marquées à basse fréquence et plus prononcées à haute fréquence ce qui reflète l'influence de la fréquence du laser sur la composition chimique du tissu.

En revanche, les analyses microbiologiques ont montré l'absence de différence entre les échantillons avec des résultats conformes aux normes ce qui indique que l'exposition au laser dans ces conditions n'a pas affecté la qualité microbiologique.

Ainsi, ce travail met en évidence l'efficacité de la technique FTIR dans l'étude de l'effet du laser sur les tissus biologiques tout en confirmant que les changements observés sont de nature structurale sans effet microbiologique notable.

Mots-clés: Laser, foie de poulet, FTIR, empreinte spectrale, fréquence, analyses microbiologique.

قائمة المحتويات:

شكر وتقدير II
إهداء III
إهداء IV
ملخص الدراسة V
قائمة المحتويات VI
قائمة الجداول IX
قائمة الاشكال..... X
مقدمة:..... 2

الفصل الأول: الأسس الفيزيائية للإشعاع الكهرومغناطيسي والليزر

تمهيد 4
I -1 -الإشعاع 5
I -1-1-الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية: 5
I -1 -2-الطيف الكهرومغناطيسي..... 5
I -1-3- أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي 6
I - 2- الليزر..... 8
I -2-1-اكتشاف أشعة الليزر..... 8
I -2-2- ماهية الليزر..... 8
I -2-3-مكونات جهاز الليزر 9
I -2-4- مبدا عمل الليزر 10
I -2-5- خصائص أشعة الليزر 12
I -2-6- أنواع الليزر 13
I -2-7-أنماط تشغيل الليزر 15
I -2-8- مجالات استخدام الليزر 16
I -2-9-عيوب استخدام الليزر 17
خلاصة الفصل..... 18

الفصل الثاني: العينة البيولوجية (كبد الدجاج) وتفاعلاتها مع الأشعة الليزرية

تمهيد 20

II-1- تعريف العينة البيولوجية 20
II-2- تصنيفات العينة البيولوجية 20
II-3- تعريف الكبد (Definition) 21
II-4- تركيب الكبد (Anatomy / Structure) 21
II-5- وظائف الكبد (Physiology / Functions) 22
II-6- الخصائص الفيزيائية للأنسجة البيولوجية 23
II-7- الخصائص الكيميائية للأنسجة البيولوجية 25
II-8- الكروموفورات في الأنسجة البيولوجية (Chromophores) 26
II-9- السلامة الحيوية أثناء التعامل مع العينات البيولوجية 27
II-10- مبررات اختيار كبد الدجاج كنموذج بيولوجي 28
II-11- تفاعل أشعة الليزر مع المادة الحية والعوامل المتحكمة(Laser–Bio–substance interaction) 29
II-12- امتصاص الإشعاع الليزري في الأنسجة 30
خلاصة الفصل 31

الفصل الثالث: الدراسة التجريبية لتأثير نبضات الليزر على عينة بيولوجية (كبد الدجاج)

تمهيد 33
III-1- المواد والأجهزة 33
III-2- تحضير العينة 34
III-4- الهدف من التجربة 36
III-5- التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراءFTIR): 36
III-5-1- تحليل طيف FTIR للعينة الشاهدة (FP-00) 38
III-5-2- تحليل طيف FTIR للعينة (FP-01) (المعالجة بليزر 1Hz) 39
III-5-3-تحليل طيف FTIR للعينة(FP-02) (المعالجة بليزر 50 Hz) 40
III-5-4- مقارنة مجالات الطيف FTIR بين العينات 42
III-6- مناقشة النتائج الميكروبيولوجية 43
III-6-1 شرح المصطلحات التقنية 43
III-6-2- تحليل ومناقشة نتائج العينة الشاهدة (FP-00) 44
III-6-3- تحليل ومناقشة نتائج العينة (FP-01)المعالجة (بليزر1Hz) 46

III-6-4- تحليل ومناقشة نتائج العينة(FP- 02) المعالجة (بليزر 50Hz) 49
III-7- الربط التحليلي بين النتائج الميكروبيولوجية ومطيافيةFTI: 50
III-8- الاستنتاج 52
خاتمة وتوصيات 53
خاتمة 55
قائمة المـــــراجع 57

قائمة الجداول:

الجدول III. 1: يوضح أهم التغيرات في القمم الطيفية (FTIR) والمجموعات الوظيفية للعينات المدروسة 42

الجدول III. 2: ملخص بين مطيافية FTIR والنتائج الميكروبيولجية 52

قائمة الاشكال:

الشكل I. 1: الطيف الكهرومغناطيسي [12] 6
الشكل I.2 : مخطط الوحدات الأساسية المكونة لجهاز الليزر[17] 10
الشكل I. 3: المبادئ الأساسية لعمل الليزر[20] 12
الشكل I. 4: : الفرق بين ضوء الليزر و الضوء العادي[23] 13

الشكل II. 1: : التشريح الداخلي للكبد [35] 22
الشكل II. 2 :تفاعل الليزر مع الانسجة [41] 29

الشكل III.1: ميزان الكتروني (وزن العينات) 34
الشكل III. 2: تسليط أشعة الليزر على العينات 35
الشكل III. 3: تحليل العينات باستخدام جهاز الأشعة الحمراء(FTIR) 36
الشكل III. 4: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة الشاهدة (FP-00) 38
الشكل III. 5: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (FP-01) 39
الشكل III. 6: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (FP-02) 41
الشكل III. 7: نتائج التحاليل الميكروبيولوجية للعينة الشاهدة (FP-00) 45
الشكل III. 8: نتائج التحاليل الميكروبيولجية للعينة (FP-01) 47
الشكل III. 9: نتائج التحاليل الميكروبيولوجية للعينة (FP-02) 49

مقدمة

مقدمة:

يعدّ الإشعاع الكهرومغناطيسي أحد الركائز الأساسية في فهم التفاعلات الفيزيائية بين الطاقة والمادة، حيث يغطي طيفًا واسعًا من الموجات التي تختلف في خصائصها، مما يمنحها تطبيقات متعددة في المجالات العلمية والطبية [1].

ومن بين أهم تطبيقات هذا الإشعاع، يبرز الليزر كأداة متطورة تتميز بخصائص فريدة مثل التماسك وأحادية اللون والاتجاهية، مما يجعله وسيلة دقيقة للتأثير على الأنسجة البيولوجية ودراستها [2].

وتعتمد استجابة الأنسجة البيولوجية لأشعة الليزر على تركيبها الفيزيائي والكيميائي، خاصة من حيث محتواها من الماء والبروتينات والدهون، إضافة إلى وجود الكروموفورات التي تلعب دورًا أساسيًا في امتصاص الطاقة وتحويلها إلى تأثيرات داخلية [3].

وفي هذا السياق، تُستخدم تقنيات التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) كوسيلة فعالة للكشف عن التغيرات البنيوية والكيميائية في الأنسجة، حيث تسمح بدراسة الروابط الجزيئية من خلال تحليل أطياف الامتصاص، خاصة في مجال البصمة الذي يُعد حساسًا لأي تغير طفيف في التركيب الجزيئي [4].

وانطلاقًا من ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير أشعة الليزر على الأنسجة البيولوجية، من خلال تطبيق تجريبي على عينات من كبد الدجاج، عبر تعريضها لترددات مختلفة، ثم تحليل التغيرات الناتجة باستخدام تقنية FTIR، وربطها بنتائج التحاليل الميكروبيولوجية [5].

وتسعى هذه الدراسة إلى إبراز العلاقة بين خصائص الليزر والتغيرات البنيوية في الأنسجة، مما يساهم في فهم أعمق لتأثيراته في التطبيقات البيولوجية والطبية.

الفصل الأول: يتناول المفاهيم الأساسية للإشعاع الكهرومغناطيسي وأشعة الليزر، مع عرض خصائصه ومكوناته وأنماط تشغيله وتطبيقاته المختلفة.

الفصل الثاني: يركز على دراسة العينة البيولوجية (كبد الدجاج) من حيث خصائصها الفيزيائية والكيميائية وآليات تفاعلها مع الإشعاع الليزري.

الفصل الثالث: يخصص للجانب التطبيقي، حيث يتم عرض منهجية العمل التجريبي وتحليل نتائج FTIR والتحاليل الميكروبيولوجية ومناقشتها.

الفصل الأول:

الأسس الفيزيائية للإشعاع الكهرومغناطيسي والليزر

تمهيد:

يُعد الإشعاع الكهرومغناطيسي أحد المفاهيم الأساسية في الفيزياء الحديثة، إذ يمثل شكلًا من أشكال انتقال الطاقة عبر الفضاء على هيئة موجات كهرومغناطيسية تتميز بعلاقة محددة بين التردد والطول الموجي والطاقة. ويشمل الطيف الكهرومغناطيسي نطاقًا واسعًا يمتد من موجات الراديو ذات الأطوال الموجية الكبيرة إلى أشعة غاما ذات الطاقات العالية، مرورًا بالضوء المرئي الذي يمثل جزءًا صغيرًا من هذا الطيف لكنه الأكثر ارتباطًا بالإدراك البشري والتطبيقات العملية [6].

ويُصنف الإشعاع الكهرومغناطيسي إلى أنواع مختلفة وفقًا لطوله الموجي وتردده، حيث تختلف خصائصه الفيزيائية وتأثيراته باختلاف موقعه ضمن الطيف. ويتميز الضوء المرئي بخصائص فيزيائية محددة تتعلق بالانعكاس والانكسار والامتصاص، وهي الخصائص نفسها التي تتحكم في سلوك أشعة الليزر عند تفاعلها مع المادة [7].

أما الليزر (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) فيمثل تطبيقًا متقدمًا لمبادئ الإشعاع الكهرومغناطيسي، إذ يعتمد على ظاهرة الانبعاث المحفز لإنتاج حزمة ضوئية أحادية اللون، مترابطة، وذات اتجاهية عالية وكثافة طاقوية مرتفعة مقارنة بالضوء العادي. وتُعد هذه الخصائص أساسًا في استخداماته الطبية والصناعية والعلمية [8].

وانطلاقًا من ذلك، يهدف هذا الفصل إلى عرض الأسس الفيزيائية للإشعاع الكهرومغناطيسي، والتعرف على الطيف وأنواعه، ثم الانتقال إلى دراسة الضوء المرئي وخصائصه، وصولًا إلى فهم المبادئ الفيزيائية لعمل الليزر وخصائصه المميزة، تمهيدًا لدراسة تفاعله مع الأنسجة البيولوجية في الفصول اللاحقة.

I -1 -الإشعاع:

الإشعاع هو عملية تنتقل بواسطتها الحرارة من جسم عند درجة حرارة عالية إلى جسم عند درجة حرارة منخفضة عند فصل الجسمين في الفضاء، أو حتى إذا تم فصلهما بواسطة فراغ هوائي، حيث تتم عملية تبادل الطاقة عن طريق الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من ذرات هذه المواد. فعندما تمتص الذرة الطاقة يزداد مستوى طاقتها وعندما تشع ينخفض مستوى طاقتها خلال كل عملية إشعاع تفقد كل ذرة قدرًا من الطاقة في الفضاء على شكل إشعاع كهرومغناطيسي تكون قيمته بحد ذاته تساوي:

$$(1)\ hv_{mn} = \varepsilon_m - \varepsilon_n$$

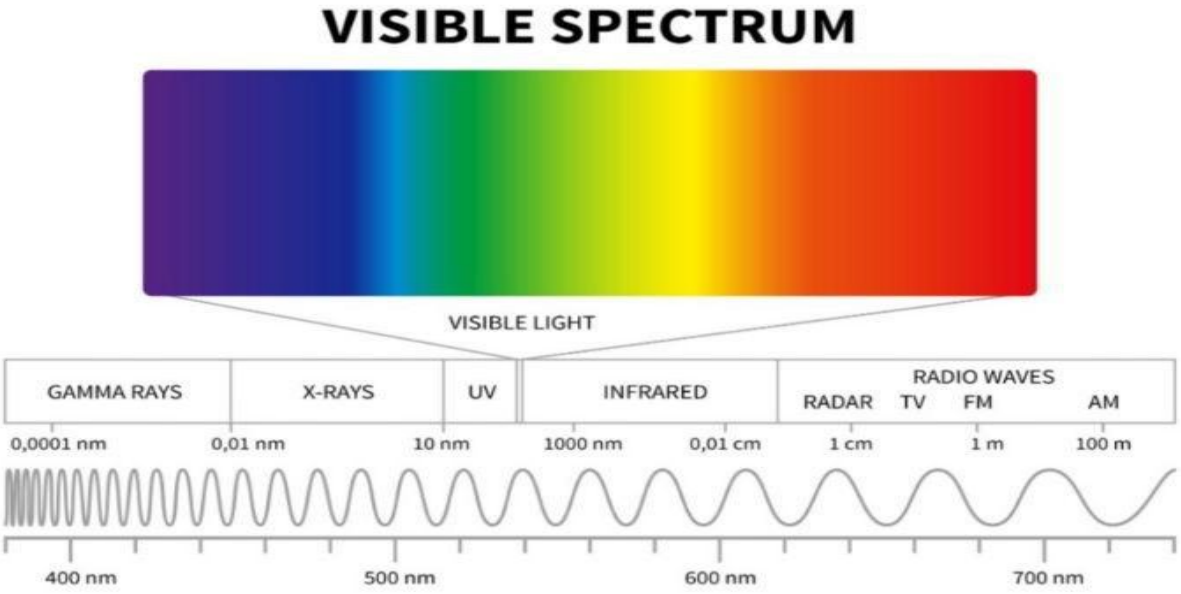
حيث ε_m مستوى طاقة الذرة قبل الإشعاع و ε_n هو مستوى الطاقة بعد الإشعاع. وهذه الموجات المشعة يمتصها الجسم الآخر عند سقوطها عليه، وفي هذه الحالة ترتفع طاقة الذرة الأخير من ε_n إلى ε_m، ويمكن القول بطريقة أخرى أنه في أي عملية إشعاع يتم تحرير فوتون من الطاقة hv، وفي كل عملية امتصاص يتم التقاط هذا الفوتون بواسطة الذرة [9].

I -1-1-الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية:

الاشعة (الموجات) الكهرومغانطيسية هي صورة من صور الطاقة التي لا تستند على كتلة مادية، اي انها كيان غير مادي وعديم الكتلة . وانما هي طاقة متمثلة في صورة مجالين احدهما الكهربائي والاخر مغناطيسي يتغيران بمرور الزمن وبتغير الموضع. و يمكن انت تتولد الموجات الكهرومغناطيسية من مصادر متنوعة ومختلفة فمنها ما يتولد عن الشحنات الكهربائية المتسارعة او المتباطئة عن التيارات الكهربائية المترددة .ومنها ما يتولد من الاجسام الساخنة غير المتوهجة اومن الاجسام الملتهبة المتوهجة .كذلك. يمكن ان تتولد الموجات الكهرو مغناطيسي عند الانتقال الالكترونات بين المدارات المختلفة في الذرة او نتيجة لاضمحلال طاقة الاثارة في نواة الذرة [10].

I -1 -2-الطيف الكهرومغناطيسي :

الطيف الكهرومغناطيسي هو النطاق الكلي الذي تمتد عليه أطوال الموجات الكهرومغناطيسية أو تردداتها، بدءًا من أطوال موجات الراديو الطويلة وصولًا إلى أقصر موجات أشعة جاما في الإشعاع الكوني[11].



الشكل ا. 1: الطيف الكهرومغناطيسي [12]

ا -1-3- أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي :

موجات الراديو (Radio Waves):

الطول الموجي: من حوالي 1 متر إلى عدة كيلومترات.

الطاقة: منخفضة جدًا مقارنة بأنواع أخرى.

الاستخدامات: البث الإذاعي والتلفزيوني، الاتصالات اللاسلكية، الرادار.

الميكروويف (Microwaves):

الطاقة: أعلى من موجات الراديو.

الاستخدامات: أجهزة الميكروويف، الاتصالات الفضائية، الرادارات.

الأشعة تحت الحمراء (Infrared Radiation):

الطول الموجي: من 700 نانومتر إلى 1 ملم تقريبًا.

الطاقة: أعلى من الميكروويف، أقل من الضوء المرئي.

الاستخدامات: التحكم عن بعد، الكاميرات الحرارية، أجهزة القياس الحراري.

الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet Radiation):

الطول الموجي: من 10 نانومتر إلى 400 نانومتر.

الطاقة: أعلى من الضوء المرئي.

الاستخدامات: التعقيم، التحاليل المخبرية، تصنيع بعض المواد الكيميائية.

الأشعة السينية (X-Rays):

الطول الموجي: من 0.01 نانومتر إلى 10 نانومتر.

الطاقة: عالية جدًا.

الاستخدامات: التصوير الطبي، فحص المعادن، البحث العلمي.

أشعة جاما (Gamma Rays):

الطول الموجي: أقل من 0.01 نانومتر.

الطاقة: أعلى إشعاع كهرومغناطيسي.

الاستخدامات: علاج السرطان، التطبيقات النووية، دراسة الفلك [13].

الضوء المرئي :

هو شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي ينتقل على هيئة موجات ناتجة عن اهتزاز المجالات الكهربائية والمغناطيسية، ويُعد جزءًا صغيرًا من الطيف الكهرومغناطيسي لكنه مهم لأنه قابل للرؤية بالعين البشرية.

يتراوح طول موجاته بين 400 و700 نانومتر، ويظهر في شكل ألوان الطيف؛ حيث يمتلك الضوء الأحمر طول موجي أكبر وطاقة أقل، بينما يمتلك الضوء الأزرق والبنفسجي طول موجي أقصر وطاقة أعلى.

يقع الضوء المرئي بين الأشعة تحت الحمراء ذات الطاقة الأقل، والأشعة فوق البنفسجية ذات الطاقة الأعلى.

ينتقل الضوء بسرعة كبيرة تصل إلى 299792.458 كم/ث في الفراغ، وتقل سرعته عند مروره في الأوساط المادية، كما ينكسر عند انتقاله بين أوساط مختلفة الكثافة مما يؤدي إلى تحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف[14].

I - 2- الليزر

I -2-1-اكتشاف أشعة الليزر :

الليزر يعني "تضخيم الضوء بواسطة إثارة موجاته الاشعاعية" [9،24]. وكان "أنشتاين" أول من تنبأ في عام 1916م بأن الالكترونات تستطيع أن تطلق نوعاً خاصاً من الضوء، ولكن ذلك لم يحدث إلا في شهر يوليه من عام 1960م، عندما نجح العالم "تيودور ميمان" ، المهندس بمختبرات شركة "هيوز" للبحوث بالولايات المتحدة الامريكية في توليد شعاع ضوئي قوي نافذ من ياقوتة حمراء تغطى الفضة طرفيها، ويسقط عليها ضوء غامر من مصباح انبوبي زجاجي يحيط بها فعندما سقط ضوء المصباح على الياقوتة أهاج ذراتها، وانبعث منها وميض انتشر الى طرفيها ليصطدم بالفضة التي عكسته كالمرآة، فتردد ذهاباً وإياباً، فزادت قوته وتركيزه، وانطلق شعاع لامع من الضوء الاحمر من نوع غير معهود من قبل. وتذكر بعض المصادر أن أول جهاز ليزر غازي هيليوم–نيون تم تطويره من طرف العالم الإيراني علي جوان ALI JAVAN الفيزيائي الامريكي من اصل إيراني والذي ساهم في تطوير ليزر الهيليوم– نيون خلال ستينات القرن الماضي، أي أن المادة الفعالة هي خليط من غازي الهيليوم والنيون في أنبوبة طولها 4 سم وقطرها 1سم. وكان العالم الامريكي "شاولو" قد سبق وأثبت إمكانية الحصول على أشعة الليزر بالحسابات النظرية[15].

I -2-2- ماهية الليزر :

الليزر (Laser) باللغة الإنجليزية تعني :

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

وهو اختصار لعبارة تضخيم الضوء بانبعاث الاشعاع المحفز وهو عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك في تردد وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بني موجاتها لتتحول الى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية . بينما يشع المصدر الضوئي العادي موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة فلا يكون لها قوة الليزر.

I -2-3-مكونات جهاز الليزر :

جهاز الليزر عبارة عن مصدر للضوء، يعمل على تجميع الإشعاعات الضوئية، التي تتولد داخل الجهاز، وتركيزها، وتقويتها، على شكل حزمة ضوئية رفيعة جدا في جهاز واحد مركز، وهي أشعة كهرومغناطيسية متجانسة ومتماسكة، وتستطيع قطع مسافات اللانهائية في خط مستقيم. وتتميز بانها تزداد شدتها، ويقوي بعضها بعضاً عند النطاق [16].

وعملية توليد أشعة الليزر تنتج عن تعريض المواد المختلفة لمصادر إثارة وتغذية خارجية. ويختلف الطول الموجي لأشعة الليزر الناتجة باختلاف المادة التي تنتجه، مع احتفاظها بطبيعتها الاساسية، وخصائصها العامة بوصفها موجة ضوئية، والخصائص العامة للموجات الكهرومغناطيسية. ويتكون جهاز الليزر من ثلاثة أجزاء رئيسة هي:

- الوسط الفعال:

وهي التي تنتج أشعة الليزر . وقد تكون في حالة صلبة مثل الياقوت الصناعي أو غازية مثل مادة النيوديوم Nudiumأو سائلة مثل الهيليوم أو النيون، أو ثاني أكسيد الكربون .

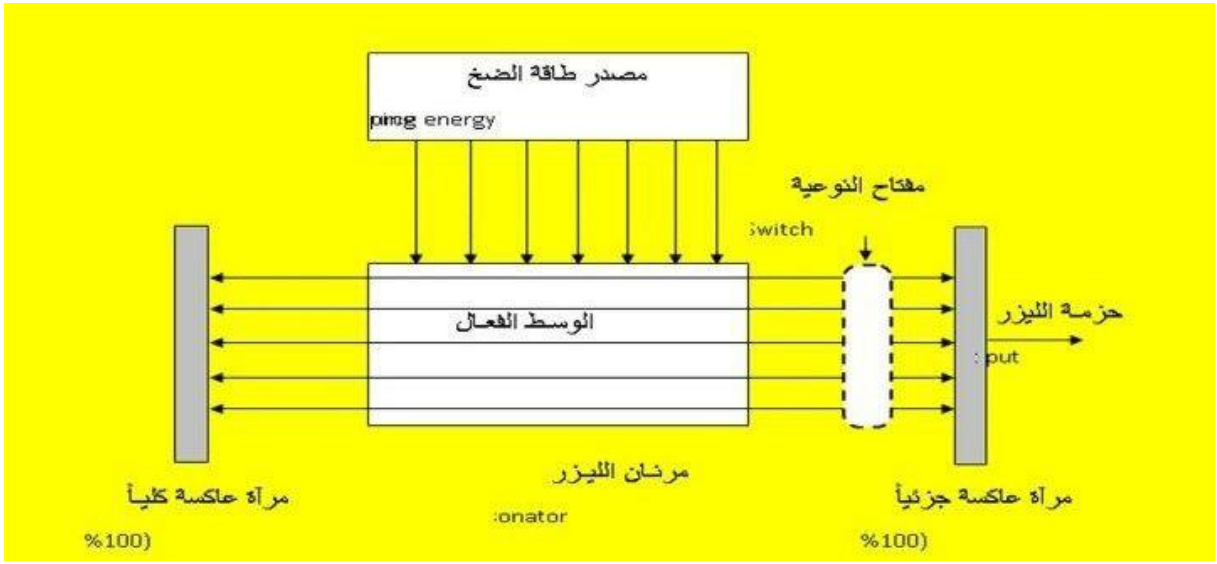
-المرنان (المرأتان):

وتقوم المرآتان بمساعدة الفوتونات المنبعثة لتنعكس ملايين المرات في الثانية ذهاباً وإياباً، مرة في كل جولة بالوسط الفعال لتحفيز أعداد كبيرة من الذرات المتهيجة ليتم بعث فوتونات جديدة أخرى للحصول على حزمة الليزر.

تكون المرآتان مستويتان أو مقعرتان وموضوعتان على التوازي إحداهما عاكسة كلياً والأخرى نافذة جزئياً، ويتم وضع المادة الفعالة بين هاتين المرآتين، ويجب التأكد من تحقق شرط التوازي بشكل دقيق، لأن أي إخلال في هذا الشرط من طاقة أشعة الليزر.

الضخ:

حيث تقوم الطاقة الضائعة بإثارة الذرات المستقرة في الوسط الفعال لتنتقل إلى المستويات المتهيجة لكي يتحقق التوزيع العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر. وهناك ثلاثة تقنيات للضخ وهي (الضخ الضوئي، الضخ الكهربائي، الضخ الكيميائي)[15].



الشكل I.2 : مخطط الوحدات الأساسية المكونة لجهاز الليزر[17]

I -2-4- مبدا عمل الليزر :

يعتمد الليزر على تفاعل الفوتونات مع ذرات الوسط الفعّال من خلال ثلاث عمليات أساسية:

- امتصاص الإشعاع
- الانبعاث التلقائي
- الانبعاث المحفَّز

1) امتصاص الإشعاع :

امتصاص الإشعاع هو العملية التي تكتسب فيها الإلكترونات الموجودة في الحالة الأرضية طاقة من الفوتونات، مما يؤدي إلى انتقالها من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى.

تكون الإلكترونات القريبة من النواة في مستويات طاقة أقل، بينما تمتلك الإلكترونات البعيدة عنها طاقة أكبر. ولكي تنتقل الإلكترونات من المستوى الأدنى إلى مستوى أعلى، فإنها تحتاج إلى طاقة إضافية تساوي فرق الطاقة بين المستويين. ويتم تزويد هذه الطاقة من مصادر مختلفة مثل الحرارة أو المجال الكهربائي أو الضوء.

للتبسيط، لنفترض وجود مستويين للطاقة:

E1: يمثل الحالة الأساسية (أو الحالة الأرضية) ذات الطاقة المنخفضة.

E2: يمثل الحالة المثارة ذات الطاقة الأعلى.

الإلكترونات الموجودة في المستوى E1 تُسمّى إلكترونات الحالة الأرضية، أما الإلكترونات التي تنتقل إلى المستوى E2 فتُسمّى إلكترونات مثارة، لأنها اكتسبت طاقة إضافية وارتفعت إلى مستوى طاقة أعلى[18].

2) الإنبعاث التلقائي:

الانبعاث التلقائي هو العملية التي تعود فيها الإلكترونات الموجودة في الحالة المثارة (E2) إلى الحالة الأرضية (E1) بشكل طبيعي، مع إصدار فوتون.

تبقى الإلكترونات في الحالة المثارة مدة زمنية قصيرة تُعرف بعمر الحالة المثارة، وبعد انقضاء هذه المدة تعود تلقائيًا إلى مستوى طاقة أقل مطلقةً طاقتها على شكل فوتون.

يحدث الانبعاث التلقائي دون أي تأثير خارجي، لذلك لا يمكن التحكم في لحظة حدوثه. كما أن الفوتونات المنبعثة تكون عشوائية في الاتجاه والطور والتردد، وبالتالي يكون الضوء الناتج غير مترابط وغير متماسك .

3) الانبعاث المحفَّز :

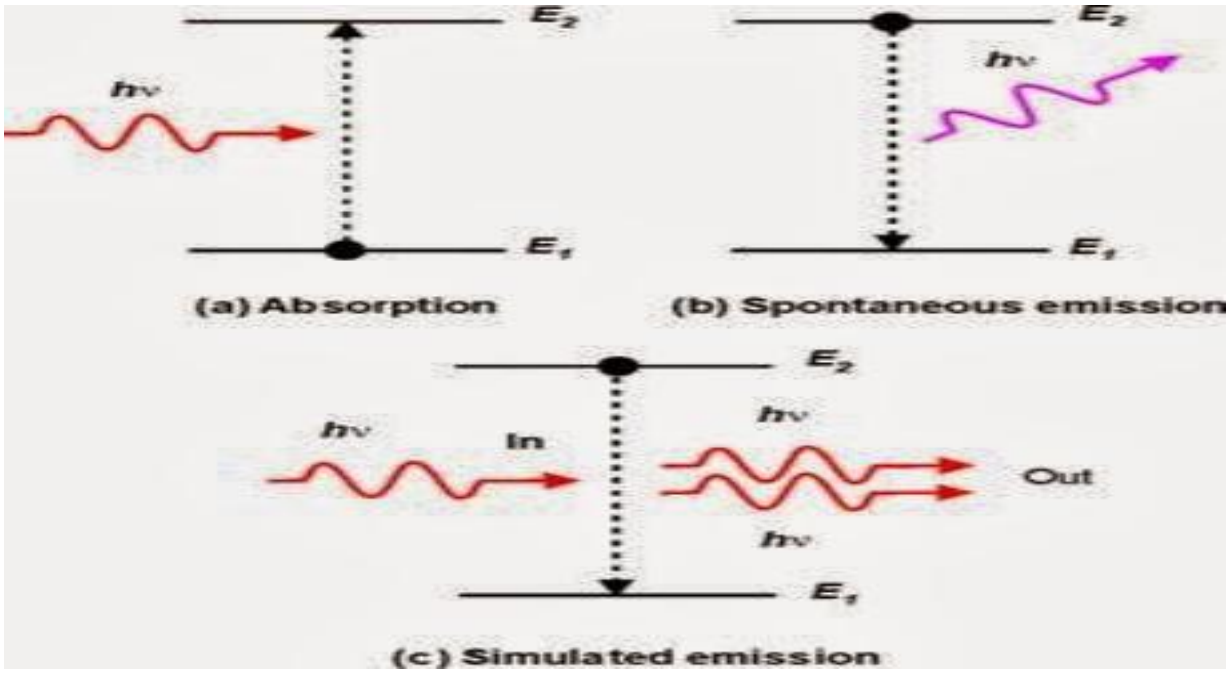
الانبعاث المحفَّز هو العملية التي يحدث فيها تفاعل بين فوتون ساقط وإلكترون موجود في الحالة المثارة (E2)، حيث يُجبر هذا الفوتون الإلكترون على العودة إلى الحالة الأرضية (E1).

عند عودة الإلكترون إلى المستوى الأدنى، تنبعث طاقة على شكل فوتون جديد مطابق تمامًا للفوتون الساقط من حيث:

- التردد
- الطاقة
- الاتجاه
- الطور

وبالتالي ينتج فوتونان متشابهان يسيران في نفس الاتجاه.

وتُعد هذه العملية أساس عمل الليزر لأنها تؤدي إلى تضخيم الضوء وإنتاج حزمة ضوئية مترابطة ومتجانسة [19].

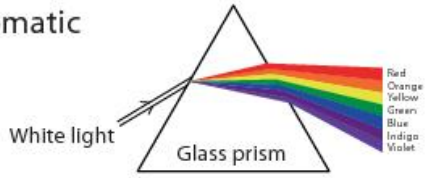
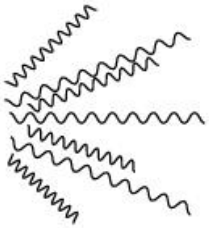
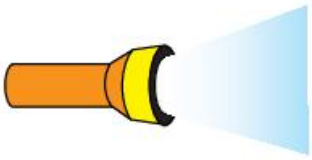


الشكل I. 3: المبادئ الأساسية لعمل الليزر[20]

I -2-5- خصائص أشعة الليزر :

شعاع الليزر خصائص عديدة تميزه عن باقي مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي وهي :

- **شدة الضوء:** شدة الضوء عالية ومركزة في حزمة ذات قطر صغير جداً، حيث إن ليزر واحد يصدر طاقة هائلة يمكن تجميعها فوق النقطة المطلوبة، بالإضافة إلى أنه يستطيع تركيزها في بقعة صغيرة جداً ذات قدرة عالية (power density) [21].
- **أحادية اللون:** ويعني أن له طول موجي ضيق ينتج عنه تردد معين، وهذه الصفة الموجية كانت تعتبر قديماً خاصة بأشعة الراديو دون سواها.
- **الترابط:** ويجب أن يكون بين موجات الحزمة ترابط عالي جداً ومتزامن، وهذا يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة وقدرة عالية للحزمة، ويكون هذا الترابط إما بناءً أو هداماً، وفرق الطور بين الموجات يساوي الصفر أو يختلف عن الصفر.
- **توازي الحزمة الضوئية أو الاتجاهية:** الضوء الصادر عن الليزر له اتجاه واحد محدد تقريباً [22].

Laser light	Non-laserlight (e.g. flashlight)
Monochromatic	Polychromatic 
Coherent	Incoherent 
Collimated	Divergent 

الشكل I. 4: : الفرق بين ضوء الليزر و الضوء العادي[23]

I -2-6- أنواع الليزر:

هناك أنواع مختلفة من أشعة الليزر تختلف من حيث طريقة الإنتاج، وما يزال يتم تطويرها، وأهم أنواع الليزر المنتشرة حتى الآن هي:

- **<u>ليزر المواد الصلبة:</u>**

ليزر المواد الصلبة هو نوع من الليزر يكون فيه الوسط الفعّال مادة صلبة، غالبًا على شكل بلورات أو زجاج مطعّم بأيونات عناصر نشطة. عند ضخ الطاقة إلى هذا الوسط، تنتقل الذرات إلى حالات متهيجة، ومع تحقق الانبعاث المحفّز تتولد أشعة ليزر ذات خصائص مميزة من حيث الشدة والتماسك.

<u>أهم الأنواع:</u>

من أشهر ليزر المواد الصلبة ليزر الياقوت الذي يُعد من أقدم أنواع الليزر ويعمل عادة بنمط نبضي. كما يُعتبر ليزر النيوديميوم–ياج (Nd:YAG) من أكثر الأنواع استخدامًا، حيث يمكن تشغيله بنمط مستمر أو

نبضي. إضافة إلى ذلك، يُستخدم ليزر النيوديميوم–زجاج (Nd:Glass) في التطبيقات التي تتطلب طاقات عالية[24].

- **<u>الليزر الغازي:</u>**

الليزر الغازي هو نوع من أجهزة الليزر يستخدم غازًا كمادة فعّالة لإنتاج شعاع ليزري متماسك. يتم تمرير تيار كهربائي أو تفريغ بين أقطاب الغاز داخل التجويف البصري لإحداث الانبعاث المحفّز للإشعاع. ينتج عن ذلك شعاع ضوء متماسك وذو طاقة عالية يمكن التحكم فيها، ويعتمد لون الضوء أو الطول الموجي على نوع الغاز المستخدم وطريقة الضخ الكهربائي.

<u>أمثلة على الليزرات الغازية:</u>

- ليزر الهيليوم-نيون (He-Ne)
- ليزر أيون الأرجون (Ar^+)
- ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2)
- ليزر النيتروجين (N_2)
- ليزر الإكسايمر (Excimer Laser)
- ليزرات الأبخار المعدني مثل ليزر النحاس والذهب
- ليزر الهيليوم-كادميوم (He-Cd)
- ليزر كيميائي (Chemical Laser) [25].

- **<u>الليزر السائل:</u>** هو نوع من الليزر يكون فيه الوسط الفعّال سائلًا، غالبًا عبارة عن صبغات عضوية مذابة في مذيبات مناسبة. عند ضخ الطاقة إلى هذا الوسط، تُثار جزيئات الصبغة، ومع تحقق الانبعاث المحفّز يتم توليد أشعة ليزر يمكن التحكم في طولها الموجي ضمن مجال واسع.

<u>أهم أنواع ليزر السوائل:</u>

ليزر الصبغات العضوية (Organic Dye Lasers)، وهو الشكل الأكثر شيوعًا [26].

I -2-7-أنماط تشغيل الليزر :

الليزر المستمر (Continuous Wave – CW) :

الليزر المستمر يصدر إشعاعًا ضوئيًا بشكل ثابت ومستمر مع الزمن، دون أي انقطاع.

- القدرة الخارجة تكون مستقرة تقريبًا، ما يجعل هذا النمط مناسبًا للتطبيقات التي تحتاج إلى تعريض طويل أو تسخين مستمر للأنسجة.
- يستخدم في العمليات الطبية التي تتطلب حرارة ثابتة، مثل بعض أنواع العلاج الضوئي، أو في التطبيقات الصناعية مثل اللحام والقطع.
- ميزة هذا النمط هي البساطة في التشغيل، بينما العيب أنه لا يمكن الوصول إلى ذروة قدرة عالية جدًا مقارنة بالليزر النبضي.

الليزر النبضي (Pulsed Laser) :

الليزر النبضي يصدر الضوء على شكل نبضات قصيرة بدلاً من تيار مستمر.

- كل نبضة تمتلك قدرة ذروية عالية يمكنها إحداث تأثيرات دقيقة على المادة أو النسيج.
- مدة النبضة يمكن أن تتراوح من الميلي ثانية إلى الفيمتوثانية حسب نوع الليزر، ويحدد طول النبضة مدى انتشار الحرارة داخل الأنسجة.
- هذا النمط مناسب جدًا لدراسات التأثير على الأنسجة البيولوجية، لأنه يسمح بالتحكم في كمية الطاقة الموجهة للنسيج دون الإضرار بالمناطق المجاورة.

تقنية التبديل الكمي (Q-Switching) :

تقنية Q-Switching هي أسلوب للتحكم في الليزر النبضي لإنتاج نبضات قصيرة جدًا وعالية القدرة.

- يتم في هذه التقنية تخزين الطاقة داخل الوسط الفعال ثم إطلاقها فجأة.
- مدة النبضة عادة في نطاق نانوسيكند (ns)، مما يجعلها قادرة على توليد تأثيرات حرارية أو ميكانيكية محددة على النسيج.

- تستخدم هذه التقنية في التطبيقات الطبية مثل إزالة الوشوم، تفتيت الحصى، وعلاج الأنسجة الدقيقة، وفي التطبيقات الصناعية التي تحتاج نبضات قوية مركزة.

تقنية(تثبيت الوضعية) Mode Locking :

تقنية Mode Locking تهدف إلى إنتاج نبضات فائقة القصر جدًا تصل إلى نطاق الفيمتوثانية (10^{-15}ثانية).

- يتم ذلك عبر تزامن عدة أوضاع ترددية داخل المرنان البصري لليزر لإنتاج حزمة ضوئية شديدة التركيز في الزمن.
- هذه النبضات القصيرة جدًا تسمح بإحداث تأثيرات دقيقة جدًا على الأنسجة أو المواد، مع قدرة ذروية عالية جدًا.
- التطبيقات تشمل الأبحاث الكيميائية السريعة، التحليل الطيفي الدقيق، وبعض التطبيقات الطبية الدقيقة على الخلايا.[27]

I -2-8- مجالات استخدام الليزر

التطبيقات الطبية:

يستخدم الليزر في علاج الأمراض وتشخيصها، وفي الإجراءات الجراحية الدقيقة لما يمتاز به من قدرة على التركيز الحراري والتحسين في الشفاء

التطبيقات الصناعية:

يدخل الليزر في عمليات القطع، اللحام، النقش والمعالجة السطحية للمواد بفضل دقته العالية وقدرته على التأثير الموصول للمواد الصلبة.

التطبيقات العلمية والبحثية:

يتم استخدام الليزر في التحليل الطيفي ودراسة خصائص المواد، وفي قياسات دقيقة للخصائص الفيزيائية والأبعاد في الأبحاث العلمية.

التطبيقات التقنية:

يستعمل في الاتصالات الضوئية (الألياف البصرية)، نظم القياس والتحكم، وفي تقنيات التعرّف والمسح عالية الدقة [28].

I -2-9-عيوب استخدام الليزر

- حزمة خطيرة خصوصاً عند تعرضها مباشرة للعين.
- تحتاج إلى قدرة عالية للتشغيل، وحيث أن طرق البحث يمكن أن تأخذ أشكالاً متنوعة، ويؤدي في بعضها تحويل الطاقات المختلفة إلى طاقة ضوئية.
- تحتاج إلى دقة متناهية في تطابق المستويات الطاقية لبنية الانبعاث الليزري [29].

خلاصة الفصل:

في ختام هذا الفصل، تم التطرق إلى الإشعاع الكهرومغناطيسي باعتباره أحد المفاهيم الأساسية في الفيزياء الحديثة، حيث يشمل طيفًا واسعًا من الموجات التي تختلف في الطول الموجي والتردد، مما يؤدي إلى اختلاف خصائصها الفيزيائية وقدرتها على التفاعل مع المادة [1].

كما تم إبراز الطيف الكهرومغناطيسي بمختلف مجالاته، والذي يحدد طبيعة الإشعاعات من حيث الطاقة والتأثير، ويُعد الإطار العام لفهم موقع أشعة الليزر ضمن هذا الطيف وخصائصها المميزة [7].

وقد خُصّص جزء مهم لدراسة الليزر، من حيث نشأته ومكوناته ومبدأ عمله القائم على الانبعاث المحفّز للإشعاع، وهو ما يمنحه خصائص فريدة مثل التماسك، أحادية اللون، والاتجاهية العالية، والتي تميّزه عن باقي أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي [2].

كما تم التطرق إلى أنواع الليزر وأنماط تشغيله المختلفة، إضافة إلى مجالات استخدامه المتعددة، خاصة في المجال الطبي والبيولوجي، حيث يُستخدم كأداة دقيقة للتحليل أو المعالجة، رغم وجود بعض القيود المرتبطة بسلامة الاستخدام وتأثيراته المحتملة على الأنسجة [27].

وبناءً على ما سبق، فإن فهم الخصائص الفيزيائية لليزر يُعد أساسًا ضروريًا لتفسير كيفية تفاعله مع الأنسجة البيولوجية، وهو ما يُشكّل قاعدة علمية للانتقال إلى دراسة تأثيراته التطبيقية، خاصة في تحليل التغيرات البنيوية والكيميائية باستخدام التقنيات الطيفية.

الفصل الثاني:

العينة البيولوجية (كبد الدجاج)
وتفاعلاتها مع الأشعة الليزرية

تمهيد:

تُعد دراسة تفاعل أشعة الليزر مع العينة البيولوجية خطوة أساسية لفهم طبيعة التأثيرات الناتجة عن التعرض للإشعاع الليزري. فالأنسجة الحية تمتلك خصائص فيزيائية وبصرية مميزة، مثل الامتصاص والانتثار والانكسار، والتي تحدد كيفية انتقال الطاقة داخلها [3].

يُعتبر الكبد من الأعضاء الغنية بالماء والبروتينات، ما يجعله نموذجًا مناسبًا لدراسة تأثير الإشعاع الليزري على الأنسجة البيولوجية. وتلعب خصائص النسيج، إضافة إلى خصائص الشعاع الليزري مثل الطول الموجي وشدة الإشعاع، دورًا أساسيًا في تحديد طبيعة التفاعل وكمية الطاقة الممتصة [27][30].

وعليه، يهدف هذا الفصل إلى تقديم الأسس العلمية المتعلقة بالعينة البيولوجية المدروسة، وخصائصها الفيزيائية، وآليات امتصاص وانتشار الإشعاع الليزري داخلها، تمهيدًا لفهم التأثيرات الناتجة عن التعريض.

II -1- تعريف العينة البيولوجية :

العينة البيولوجية هي أي مادة مأخوذة من كائن حي (إنسان، حيوان أو نبات) مثل الدم، الأنسجة، السوائل الحيوية أو الكائنات الدقيقة، وتُستعمل لأغراض البحث أو التشخيص أو التحليل المخبري، مع احتمال احتوائها على عوامل ممرِضة تتطلب التعامل معها وفق قواعد السلامة الحيوية[31].

II -2- تصنيفات العينة البيولوجية :

1. **حسب الحالة:**

- طازجة
- محفوظة أو مجمّدة
- مثبتة كيميائيًا (مثل الفورمالين)

2. **حسب المصدر (مأخوذة من أعضاء):**

- سوائل بيولوجية: دم، بول، عرق، دموع، حليب ثدي
- أنسجة وخلايا مأخوذة من أعضاء مختلفة

3. **حسب الغرض من الاستخدام:**

- البحث العلمي.
- التشخيص الطبي.
- التعليم والتدريب الأكاديمي[32].

II -3- تعريف الكبد (Definition):

الكبد هو أكبر عضو داخلي في الجسم، يقع في الربع العلوي الأيمن من البطن تحت الحجاب الحاجز.

الوزن:

- عند الإنسان البالغ: حوالي 1500 غرام.
- عند الحيوان (مثل الدجاج): حوالي 30 – 40 غرام حسب العمر والحجم.

المظهر الخارجي: لونه بني محمر، سطحه أملس، وله حواف رقيقة وحادة نوعًا ما[33].

II -4- تركيب الكبد (Anatomy / Structure):

- الكبد عضو غدي كبير يوجد في الجزء العلوي الأيمن من التجويف البطني.
- يتكوّن الكبد من وحدات بنائية تسمى الفصيصات الكبدية (Hepatic lobules).
- الفصيص الكبدي يحتوي على:

خلايا كبدية مسؤولة عن العمليات الحيوية.

وريد مركزي في وسط الفصيص.

جيوب دموية تسمح بتبادل المواد بين الدم والخلايا.

- الكبد يمتلك تروية دموية مزدوجة:

الوريد البابي الكبدي (ينقل الدم المحمل بالمغذيات).

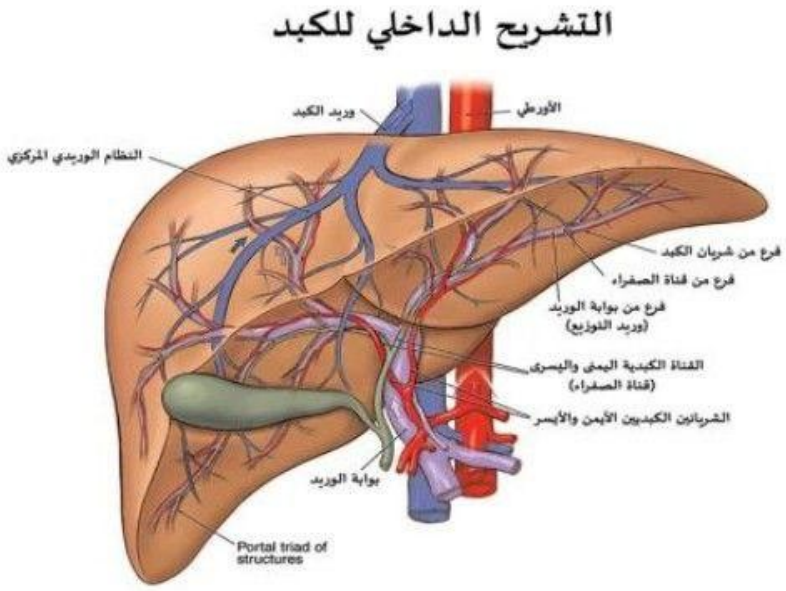
الشريان الكبدي (ينقل الدم الغني بالأكسجين).

- يحتوي الكبد على خلايا متخصصة:

خلايا كوبفر: تنقية الدم والدفاع المناعي.

خلايا نجمية: تخزين الفيتامينات والمشاركة في إصلاح الأنسجة.

- الصفراء تنتج في الخلايا الكبدية وتنتقل عبر القنوات الصفراوية نحو المرارة والأمعاء[34]



الشكل II. 1: : التشريح الداخلي للكبد [35]

II -5- وظائف الكبد (Physiology / Functions):

الكبد من أهم أعضاء الجسم، ويؤدي العديد من الوظائف الحيوية التي تحافظ على التوازن الداخلي والصحة العامة، ومن هذه الوظائف:

1- تنظيم التمثيل الغذائي (الأيض):

• تنظيم مستوى السكر في الدم وتخزين الجلوكوز على شكل جليكوجين.

• استقلاب البروتينات والدهون وإعادة تركيب المواد الكيميائية.

2- إزالة السموم:

• تنقية الدم من المواد السامة، الأدوية، والمواد الكيميائية وتحويلها إلى مركبات أقل ضررًا يمكن التخلص منها.

3- إنتاج العصارة الصفراوية (الصفراء):

• تصنع الصفراء التي تساعد على هضم الدهون وامتصاص الفيتامينات الذائبة في الدهون.

4- تخزين المواد الغذائية :

• تخزين الجليكوجين، والفيتامينات (مثل A، D، K،E وB12)، والمعادن مثل الحديد.

5- تصنيع البروتينات:

• إنتاج بروتينات الدم مثل الألبومين وعوامل تخثر الدم الضرورية لمنع النزيف.

6- تنظيم مكونات الدم:

• يساهم في توازن السوائل في الجسم ومعالجة كريات الدم الحمراء التالفة.

7- الدور المناعي:

• يشارك في حماية الجسم من الجراثيم والمواد الغريبة عبر نظامه المناعي والكبد يحتوي على خلايا كوبفر التي تلتقط الميكروبات[36].

II -6- الخصائص الفيزيائية للأنسجة البيولوجية :

الخصائص الحرارية للأنسجة (Thermal Properties of Tissue):

تشمل:

- التوصيل الحراري (Thermal conductivity)
- السعة الحرارية (Heat capacity)

- الانتشار الحراري (Thermal diffusivity)

الخصائص الضوئية للأنسجة (Optical Properties of Tissue):

تشمل:

- امتصاص الضوء (Absorption)
- تشتت الضوء (Scattering)
- نفاذية الأشعة
- تأثير الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء

الخصائص الصوتية / الأكوستية (Acoustic Properties of Tissue):

تشمل:

- سرعة الموجات فوق الصوتية
- معامل التوهين (Attenuation)
- امتصاص الموجات الصوتية

الخصائص الميكانيكية للأنسجة (Mechanical Properties of Tissue):

تشمل:

- المرونة (Elasticity)
- الصلابة (Stiffness)
- مقاومة التشوه

الخصائص الكهربائية للأنسجة (Electrical Properties of Tissue):

تشمل:

- الناقلية الكهربائية (Electrical conductivity)
- السماحية الكهربائية (Permittivity)

تفاعل الإشعاع المؤين مع الأنسجة (Ionising Radiation and Tissue):

تشمل:

- امتصاص الطاقة
- التأثيرات البيولوجية
- تغير الخلايا والأنسجة [37].

II -7- الخصائص الكيميائية للأنسجة البيولوجية:

- تحتوي الأنسجة البيولوجية على نسبة عالية من الماء (60–80%)، ويُعد المكوّن الأساسي الذي يساهم في نقل المواد داخل الخلايا، كما يلعب دورًا مهمًا في التفاعلات الكيميائية الحيوية وامتصاص الإشعاع.
- وجود البروتينات (مثل الكولاجين والإنزيمات) التي تُعتبر المكوّن البنيوي الرئيسي للخلايا والأنسجة، حيث تدخل في بناء الأنسجة وتساهم في أداء الوظائف الحيوية مثل النشاط الإنزيمي.
- تحتوي على الدهون (Lipids) التي تدخل في تركيب الأغشية الخلوية، كما تُستخدم كمخزن للطاقة، وتلعب دورًا مهمًا في التوازن الكيميائي داخل الخلية.
- وجود الكربوهيدرات بنسبة أقل مقارنة بالمكونات الأخرى، لكنها تُعد مصدرًا سريعًا للطاقة، وتساهم في بعض التراكيب الخلوية.
- تحتوي الأنسجة على الأملاح المعدنية مثل الصوديوم (Na^+)، البوتاسيوم (K^+)، الكالسيوم (Ca^{2+})، والحديد (Fe^{2+})، وهي عناصر ضرورية للحفاظ على التوازن الأيوني والوظائف الحيوية مثل نقل الإشارات العصبية.
- وجود الفيتامينات التي تُعتبر عوامل مساعدة في التفاعلات الكيميائية الحيوية، وتساهم في تنظيم العمليات البيولوجية داخل الخلايا.

- تحتوي على الإنزيمات، وهي بروتينات متخصصة تعمل على تسريع التفاعلات الكيميائية الحيوية دون أن تُستهلك أثناء التفاعل.
- وجود الأحماض النووية (DNA و RNA)، وهي المسؤولة عن تخزين ونقل المعلومات الوراثية وتنظيم نشاط الخلايا.
- تتميز الأنسجة البيولوجية بحدوث تفاعلات أيضية مستمرة (Metabolism)، تشمل عمليات البناء (Anabolism) والهدم (Catabolism)، وهي ضرورية لاستمرار الحياة.
- تتأثر التركيبة الكيميائية للأنسجة بالعوامل الخارجية مثل الحرارة والإشعاع (كالليزر)، مما قد يؤدي إلى تغيرات في البنية الجزيئية خاصة في البروتينات والماء [30].

II -8- الكروموفورات في الأنسجة البيولوجية (Chromophores):

تُعرَّف الكروموفورات بأنها مكونات موجودة داخل الأنسجة البيولوجية لها القدرة على امتصاص الضوء أو طاقة الليزر عند أطوال موجية محددة. ويُعتبر هذا الامتصاص العامل الأساسي الذي يحدد نوع التأثير الناتج عن تفاعل الليزر مع النسيج، سواء كان تأثيرًا حراريًا أو كيميائيًا أو فيزيائيًا. تختلف الكروموفورات من حيث التركيب والوظيفة، كما يختلف سلوكها الطيفي داخل النسيج، مما يجعلها عنصرًا مهمًا في دراسة التفاعل الليزري مع الأنسجة الحيوية مثل كبد الدجاج.

ومن أهمها :

الماء (Water):

- يشكل النسبة الأكبر من مكونات الكبد
- يمتص الأشعة تحت الحمراء بشكل قوي
- مسؤول عن التأثير الحراري ورفع درجة حرارة النسيج

الهيموغلوبين (Hemoglobin):

- يوجد داخل الدم الموجود في الأوعية الدموية للكبد.
- يمتص الضوء في المجال المرئي.

- يساهم في توزيع الطاقة داخل النسيج.

الدهون (Lipids):

- تمتص عند أطوال موجية معينة.
- تؤثر على الإشارات الطيفية في تحليلFTIR.
- تلعب دورًا في الخصائص الفيزيائية للنسيج.

البروتينات (Proteins):

- تظهر بوضوح في طيف FTIR من خلال نطاقي Amide I و Amide II.
- تتأثر بالليزر وقد يحدث تغير في بنيتها (denaturation)[38].

II -9- السلامة الحيوية أثناء التعامل مع العينات البيولوجية :

- ارتداء معدات الحماية الشخصية مثل القفازات، المئزر والكمامة أثناء التعامل مع العينات .
- تجنب التلامس المباشر مع الأنسجة البيولوجية لتفادي أي خطر عدوى أو تلوث .
- استعمال أدوات معقمة ونظيفة في جميع مراحل التحضير والتجارب .
- منع التلوث المتبادل بين العينات عبر تعقيم الأدوات أو تغييرها بين كل عينة .
- تنظيف وتعقيم سطح العمل بمواد مطهرة قبل وبعد الاستخدام.
- التخلص من النفايات البيولوجية في حاويات خاصة أو عبر التعقيم المناسب .
- منع الأكل أو الشرب داخل المخبر أثناء العمل.
- غسل اليدين جيدًا قبل وبعد التعامل مع العينات .
- احترام بروتوكولات السلامة المخبرية لتقليل الأخطار وضمان نتائج دقيقة[39] .

II -10- مبررات اختيار كبد الدجاج كنموذج بيولوجي:

يُعد اختيار العينة البيولوجية خطوة أساسية في أي دراسة تجريبية تهدف إلى فهم تأثير العوامل الفيزيائية مثل الليزر على الأنسجة الحية. وفي هذا الإطار تم اختيار كبد الدجاج كنموذج بيولوجي لعدة اعتبارات علمية وعملية.

أولًا، يتميز كبد الدجاج بتركيب نسيجي غني ومعقد، حيث يحتوي على نسبة عالية من الماء والبروتينات والدهون، وهي مكونات تُعتبر حساسة جدًا للتغيرات الناتجة عن التعرض للإشعاع الليزري . وهذا ما يجعله نموذجًا مناسبًا لدراسة التغيرات الطيفية باستخدام تقنية FTIR، خاصة في مناطق الامتصاص المرتبطة بالمجاميع الوظيفية مثل (O–H، N–H، C=O).

ثانيًا، يُشبه كبد الدجاج إلى حدٍّ كبير الأنسجة الرخوة في جسم الإنسان من حيث الخصائص الفيزيائية والبصرية مثل الامتصاص والتشتت، مما يسمح بإسقاط النتائج التجريبية بشكل تقريبي على التطبيقات الطبية الحيوية خاصة في مجال التفاعل بين الليزر والأنسجة.

ثالثًا، يتميز هذا النوع من العينات بسهولة الحصول عليه وتكلفته المنخفضة مقارنة بالعينات البشرية أو النماذج الحيوانية المعقدة، مما يجعله مناسبًا للتجارب المخبرية المتكررة دون قيود كبيرة.

رابعًا، يُظهر كبد الدجاج استجابة واضحة وسريعة للتغيرات الحرارية والكيميائية الناتجة عن التعرض لنبضات الليزر، وهو ما يسهل رصد وتحليل هذه التغيرات باستخدام التقنيات الطيفية خاصة في مناطق البصمة (Fingerprint region) التي تعكس تغيرات دقيقة في البنية الجزيئية.

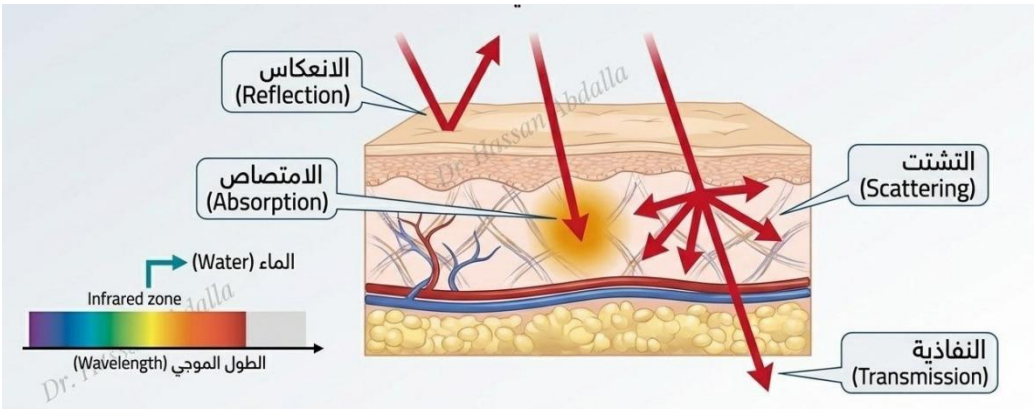
وأخيرًا، فإن استخدام كبد الدجاج ينسجم مع متطلبات السلامة الحيوية حيث لا يتطلب إجراءات أخلاقية معقدة مقارنة باستخدام العينات البشرية مع الحفاظ على موثوقية النتائج العلمية.

بناءً على ما سبق، يُعتبر كبد الدجاج نموذجًا بيولوجيًا ملائمًا لدراسة تأثير نبضات الليزر على الأنسجة وتحليل التغيرات البنيوية والكيميائية باستخدام التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR)[37].

❖ وقبل الانتقال إلى الفصل الثالث فمن الضروري معرفة كيف تتفاعل أشعة الليزر مع المادة الحية !

II -11- تفاعل أشعة الليزر مع المادة الحية والعوامل المتحكمة(Laser–Bio-substance interaction):

ترتكز جميع التطبيقات الحياتية والطبية لليزر أساسًا على طبيعة ونوع تفاعله مع المادة الحية. فعند سقوط شعاع ليزري على نظام حيوي معيّن، سواء كان جزيئات حيوية أو خلايا أو أنسجة، فإنه قد يتعرض لعدة ظواهر فيزيائية تشمل الانعكاس (Reflection)، الاستطارة (Scattering)، النفوذ (Transmission)، أو الامتصاص (Absorption)، وقد تحدث هذه الظواهر مجتمعة[40].



الشكل II. 2 :تفاعل الليزر مع الانسجة .[41]

ويعود هذا السلوك إلى مجموعة من الخصائص الفيزيائية الخاصة بالنسيج المعالَج، إضافة إلى خصائص الليزر المستعمل من حيث نوعه، طوله الموجي وطاقته. ولضمان الحصول على التأثير البيولوجي المرغوب أو تحقيق الهدف العلاجي المطلوب، تم تحديد مجموعة من العوامل التي ينبغي أخذها بعين الاعتبار، وهي كما يلي:

العوامل المتعلقة بالليزر:

- نمط التشغيل (Operation mode):ليزر مستمر الموجة (CW) أو ليزر نبضي، مع تحديد عرض النبضة (Pulse duration).
- قدرة الليزر المنبعثة من الجهاز (Out put power).
- قدرة الليزر المسلطة على النسيج.
- الطول الموجي (λ).

- شكل الحزمة (Beam profile) ومساحة بقعتها (Spot size).
- العلاقة الهندسية بين حزمة الليزر والنسيج.

العوامل المتعلقة بالنسيج:

- الخواص الضوئية للنسيج، والمتمثلة في معاملات الامتصاص، الانعكاس والاستطارة عند طول موجي معيّن لليزر.
- مدة التعرض (Exposure time).
- مساحة المنطقة المشعّة من النسيج.
- نوع النسيج، من حيث تركيبه، درجة تجانسه، محتواه من الماء، إضافة إلى الأصبغة والكروموفورات وطريقة توزّعها.
- التوصيل الحراري (Thermal conductivity) ومكوّنات تبريد الأنسجة (Cooling components).

II -12- امتصاص الإشعاع الليزري في الأنسجة:

يتحدد التأثير الفعلي لأشعة الليزر في الأنسجة الحية بمدى امتصاصها من طرف الخلايا والأنسجة البيولوجية. ويعتمد امتصاص النسيج لشعاع ليزري معيّن أساسًا على عاملين رئيسيين، هما طاقة الفوتون الممتص وطبيعة التوزيع الإلكتروني للجزيئات الحيوية الماصة المعروفة بالكروموفورات (Chromophores).

وبناءً على ذلك، يمكن تمييز ثلاثة أنواع من التأثيرات التي قد تنتج عن امتصاص الفوتونات، وهي:

- التأثير الحراري الضوئي
- تأثير الاستئصال الضوئي
- التأثير الضوئي (Sofic or ionizing effect)

كما تُستغل ظاهرتا انعكاس واستطارة الإشعاع الليزري في التطبيقات التشخيصية ضمن مجالات علم الأحياء والطب والكيمياء [40].

خلاصة الفصل:

في ختام هذا الفصل، تم التعريف بالعينة البيولوجية مع التركيز على كبد الدجاج كنموذج تجريبي، نظرًا لخصائصه البنيوية والكيميائية التي تجعله مناسبًا لدراسة تأثير الأشعة الليزرية على الأنسجة الحية[42].

كما تم إبراز مكونات الكبد ووظائفه، إضافة إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأنسجة، والتي تلعب دورًا أساسيًا في تحديد كيفية تفاعلها مع الإشعاع الليزري[30].

وقد تم التطرق إلى الكروموفورات باعتبارها العناصر المسؤولة عن امتصاص الطاقة الليزرية، مما يؤدي إلى حدوث تأثيرات حرارية وكيميائية داخل النسيج[3].

كما تم استعراض العوامل المتحكمة في تفاعل الليزر مع المادة الحية، مثل التردد وزمن التعريض، والتي تحدد شدة التأثير داخل النسيج[27].

وعليه، فإن فهم هذه العناصر يُعد ضروريًا لتفسير التغيرات التي سيتم تحليلها في الجانب التطبيقي.

الفصل الثالث:

الدراسة التجريبية لتأثير نبضات الليزر على عينة بيولوجية (كبد الدجاج)

تمهيد:

يهدف هذا الفصل إلى دراسة تأثير نبضات أشعة الليزر على العينة البيولوجية المتمثلة في كبد الدجاج، من خلال تحليل التغيرات الناتجة عن تعريض العينات لترددات مختلفة من الإشعاع الليزري.

تعتمد هذه الدراسة على الربط بين الجانب الفيزيائي والبيولوجي، حيث تم استخدام تقنية الأشعة تحت الحمراء (IR) لدراسة سلوك الامتصاص الطيفي، بالإضافة إلى إجراء تحاليل ميكروبيولوجية لتقييم التأثير البيولوجي لليزر على الكائنات الحية الدقيقة داخل النسيج.

فما مدى تأثير تغيرات تردد أشعة الليزر على الخصائص البنيوية والكيميائية لنسيج كبد الدجاج , وكيف تنعكس في الطيف تحت الأحمر , خاصة في مجال البصمة , وما علاقتها بالنتائج الميكروبيولوجية ؟

III-1- المواد والأجهزة:

- **المواد**

- كبد الدجاج (عينات بيولوجية بكتلة تقارب 70 غرام لكل عينة)
- قفازات طبية
- أوعية نظيفة لحفظ العينات

- **الأجهزة**

- جهاز ليزر نبضي (pulsed laser)
- جهاز الأشعة تحت الحمراء من نوع ATR-FTIR
- ميزان إلكتروني لقياس الكتلة
- مسطرة لتحديد المسافة بين مصدر الليزر والعينة
- ساعة توقيت (Chronomètre) لضبط مدة التعرض
- معدات التحليل الميكروبي (أوساط زرع، حاضنة، أدوات مخبرية)

III-2- تحضير العينة :

تم استخدام كبد الدجاج كعينة بيولوجية في هذه الدراسة، حيث تم اختياره نظرًا لغناه بالماء والبروتينات، مما يجعله مناسبًا لدراسة تأثير أشعة الليزر على الأنسجة الحية.

في البداية، تم تنظيف الكبد جيدًا لإزالة بقايا الدم والشوائب، ثم تم تقطيعه إلى ثلاث عينات متساوية الكتلة، حيث تم ضبط كتلة كل عينة بحوالي 70 غرام لضمان تجانس الظروف التجريبية.

الشكل III.1: ميزان الكتروني (وزن العينات)

بعد ذلك، تم وضع العينات في أوعية نظيفة وحفظها في ظروف ملائمة من حيث درجة الحرارة، إلى حين إجراء التجربة، وذلك لتفادي حدوث أي تغيرات فيزيائية أو كيميائية غير مرتبطة بالتجربة.

وقد تم التعامل مع العينات باستخدام قفازات طبية للحفاظ على نظافتها وتفادي التلوث، خاصة في ظل إجراء تحاليل ميكروبيولوجية لاحقًا.

III-3- بروتوكول التجربة (إجراءات العمل) :

في إطار دراسة تأثير نبضات الليزر على الأنسجة البيولوجية، تم إجراء تجربة مخبرية على عينات من كبد الدجاج، باعتباره نسيجًا حيويًا غنيًا بالماء والبروتينات ويُعد نموذجًا مناسبًا لمحاكاة الأنسجة الحية.

تم تحضير ثلاث عينات من كبد الدجاج، حيث بلغ وزن كل عينة 70 غرامًا، وتم ترميزها كما يلي:

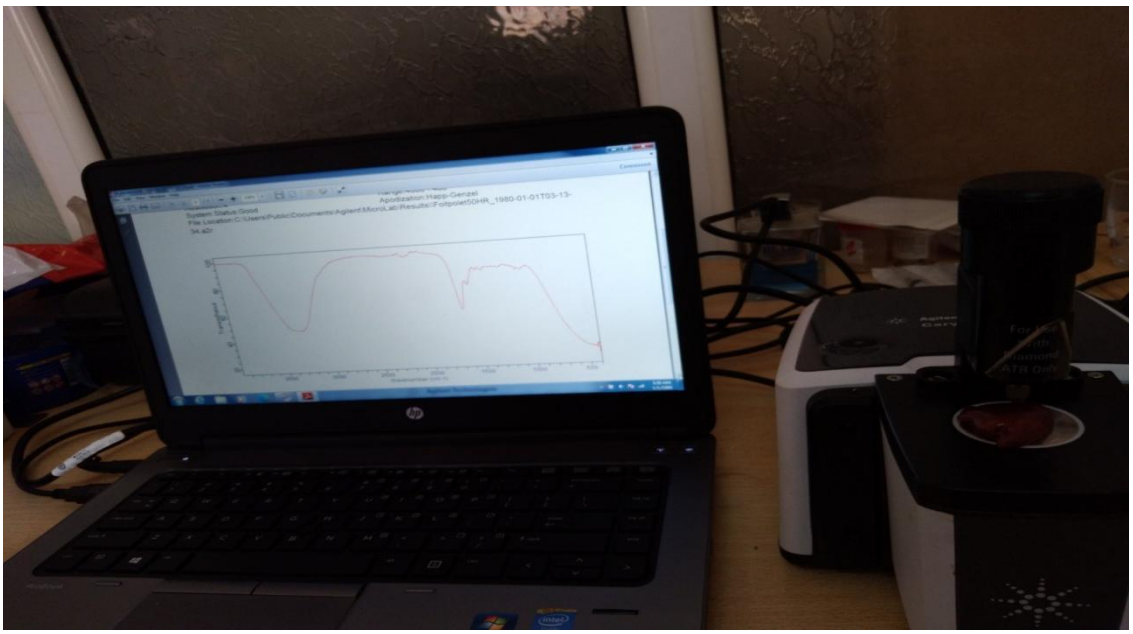
العينة (FP-00): عينة شاهدة (غير معالجة بالليزر)، تم تحليلها مباشرة باستخدام الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للحصول على الطيف المرجعي.

العينة (FP-01): تم تعريضها لأشعة الليزر بتردد 1 Hz لمدة 5 دقائق، مع تسليط الإشعاع على جهتي العينة (الأمامية والخلفية)، ثم تم تحليلها باستخدام الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لاستخراج الطيف.

العينة (FP-02): تم تعريضها لأشعة الليزر بتردد 50 Hz لمدة 5 دقائق، على جهتي العينة أيضًا، وبعد ذلك تم تحليلها باستخدام الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للحصول على الطيف.

الشكل III. 2: تسليط أشعة الليزر على العينات

بعد الانتهاء من المعالجة، تم تسجيل الأطياف لكل العينات باستخدام تقنية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، وذلك بهدف مقارنة التغيرات الحاصلة في البنية الجزيئية للأنسجة نتيجة اختلاف تردد نبضات الليزر.



الشكل III. 3: تحليل العينات باستخدام جهاز الأشعة الحمراء(FTIR)

وفي الأخير، تم أخذ عينات من كبد الدجاج وإخضاعها للتحليل الميكروبيولوجي، وذلك لدراسة التغيرات البيولوجية والميكروبية الناتجة عن تأثير الليزر على الأنسجة

III-4- الهدف من التجربة:

تهدف هذه التجربة إلى دراسة تأثير تغيير تردد نبضات الليزر على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنسيج البيولوجي (كبد الدجاج)، من خلال تحليل الأطياف باستخدام الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، إضافةً إلى تقييم التغيرات البيولوجية عبر التحليل الميكروبيولوجي، ومقارنة النتائج مع العينة المرجعية (غير المعالجة)

III-5- التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء(FTIR):

جهاز **FTIR** هو اختصار لـ **Fourier Transform Infrared Spectroscopy** (مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه).

تعريفه: هو جهاز تحليلي يُستخدم لدراسة تركيب المواد الكيميائية من خلال قياس امتصاصها للأشعة تحت الحمراء عند أطوال موجية مختلفة، مما يسمح بتحديد الروابط الكيميائية والمجموعات الوظيفية الموجودة في العينة.

مبدا العمل

- يمرر شعاع الأشعة تحت الحمراء عبر العينة أو ينعكس عليها.
- تقوم الجزيئات بامتصاص أطوال موجية محددة.
- يتم تحويل الإشارة إلى طيف (Spectrum) بواسطة تحويل فوريه.
- الناتج يعطي "بصمة طيفية" خاصة بكل مادة[43].

تم اعتماد تقنية الأشعة تحت الحمراء من نوع FTIR لتحليل العينات البيولوجية المدروسة، وذلك لما توفره من معلومات دقيقة حول التركيب الجزيئي للأنسجة، من خلال دراسة سلوك الامتصاص الطيفي عند أطوال موجية مختلفة.

تسمح هذه التقنية بتحديد المجموعات الوظيفية الرئيسية داخل النسيج، مثل البروتينات والدهون والماء، وذلك اعتمادًا على القمم المميزة في الطيف. كما تُمكن من الكشف عن التغيرات التي قد تطرأ على هذه المكونات نتيجة التعرض لعوامل خارجية، مثل أشعة الليزر.

في هذا السياق، سيتم تحليل الأطياف المسجلة لكل من العينة الشاهدة (FP-00) والعينات المعرضة لأشعة الليزر، مع إجراء مقارنة بينها بهدف إبراز التغيرات الطيفية الناتجة عن تغيير تردد التعرض، وتفسيرها من الناحية الفيزيائية والكيميائية.

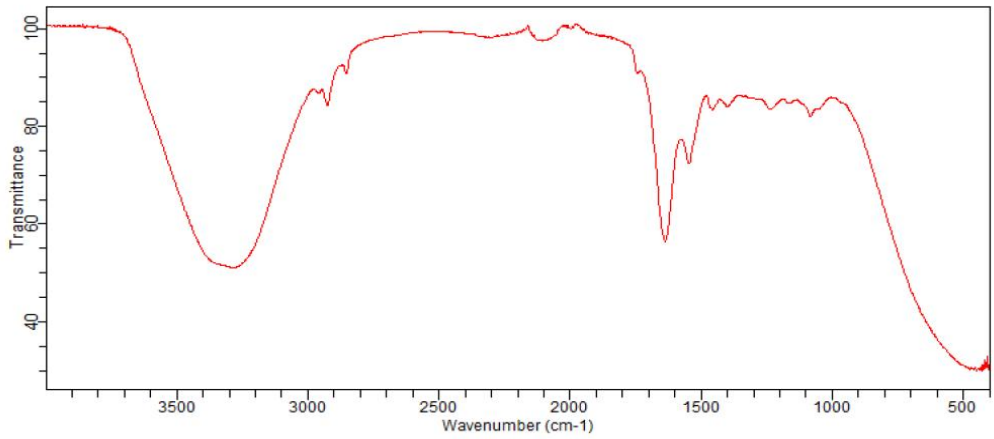
البصمة الطيفية (Fingerprint Region):

تُعد البصمة الطيفية الجزء من طيف الأشعة تحت الحمراء الممتد تقريبًا بين 1500 و 500 $\mathbf{cm^{-1}}$ ،

وتتميز باحتوائها على قمم خاصة بكل مادة ناتجة عن اهتزازات الروابط الكيميائية المختلفة. وتُستخدم هذه المنطقة للكشف عن التغيرات البنيوية والكيميائية التي قد تطرأ على العينة، لذلك تم التركيز عليها في هذه الدراسة عند تحليل أطياف **FTIR** الخاصة بعينات كبد الدجاج.

III-5-1- تحليل طيف FTIR للعينة الشاهدة (FP-00):

بعد فحص العينة الشاهدة أعطت الطيف الموضح في الشكل التالي:



الشكل III. 4: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة الشاهدة (FP-00)

يُظهر الطيف البصمة الكيميائية الحيوية للأنسجة، حيث يتميز بوجود قمم امتصاص رئيسية تعكس المكونات الأساسية (الماء، البروتينات، الدهون، والأحماض النووية).

1. منطقة الروابط الهيدروجينية (cm^{-1}) (3600 - 3000):

تظهر قمة عريضة وواضحة جداً متمركزة حول (cm^{-1}) 3280 .

التفسير: تعود هذه القمة بشكل رئيسي إلى اهتزاز التمدد لروابط (O-H) الخاصة بالماء الموجود في النسيج، بالإضافة إلى تمدد روابط (N-H) الخاصة ببروتينات الأنسجة (Amide A)[44] .

2. منطقة الدهون (cm^{-1}) (3000 – 2800) :

نلاحظ وجود نتوءات صغيرة عند حوالي (cm^{-1}) 2925 و (cm^{-1}) 2850

التفسير: تعود لاهتزازات التمدد غير المتماثل والمتماثل لمجموعات الميثيلين (CH_2) والميثيل (CH_3) الموجودة في السلاسل الهيدروكربونية للأحماض الدهنية[45].

3. منطقة البروتينات (cm^{-1}) (1700 - 1500):

تعد هذه المنطقة الأهم لتوصيف الحالة البنيوية للنسيج، ويظهر فيها قمتان حادتان:

قمة Amide I حوالي (cm^{-1})(1645): وهي القمة الأكثر شدة، وتنشأ أساساً من اهتزاز تمدد الرابطة الكيميائية C=O في العمود الفقري للبروتين. موقعها يشير عادةً إلى سيادة بنية (alpha -helix).

قمة Amide II حوالي(cm^{-1})(1540) تنتج عن اقتران اهتزاز انحناء الرابطة N–H مع تمدد الرابطة (C–N)[46].

4. منطقة "بصمة الإصبع" (cm^{-1})(1300 – 1000)

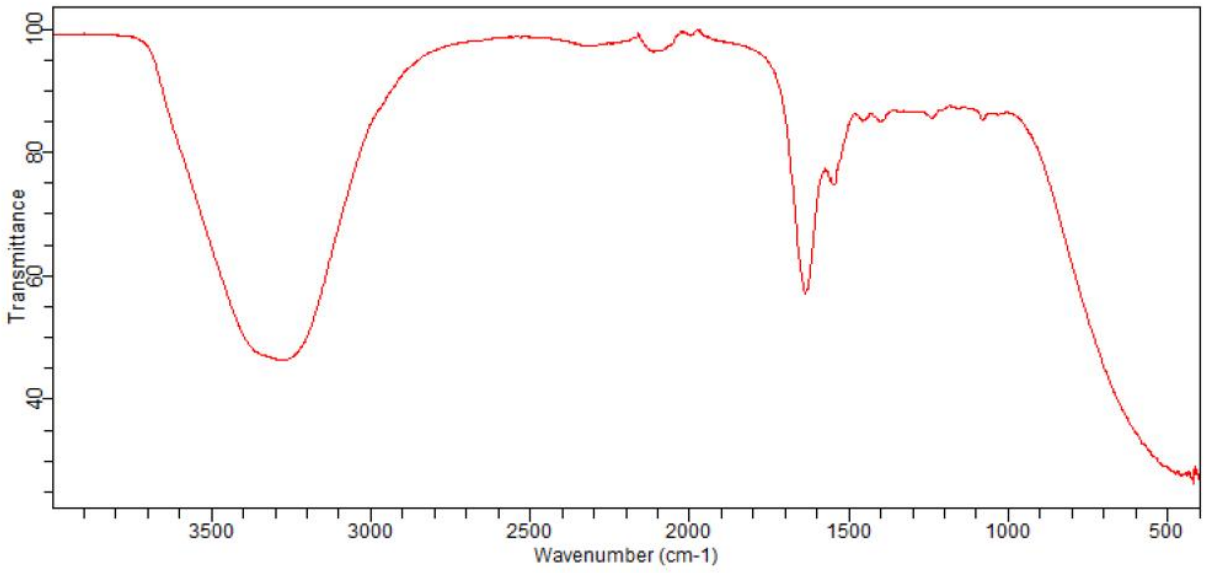
تظهر مجموعة من القمم المتداخلة والأقل شدة:

القمة عند(cm^{-1}) (1240): تعود لاهتزاز التمدد غير المتماثل لمجموعات الفوسفات (PO^{-2}) في الأحماض النووية (DNA/RNA) والفوسفوليبيدات.

القمة عند(cm^{-1}) 1080: تعود لاهتزاز تمدد C–O في الكربوهيدرات (الجليكوجين المخزن في الكبد)[47].

III–5–2– تحليل طيف FTIR للعينة (FP–01) (المعالجة بليزر 1Hz) :

بعد فحص العينة (FP–01) بجهاز FTIR أعطت الطيف الموضح في الشكل أدناه :



الشكل III. 5: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (FP–01)

يعكس هذا الطيف استجابة النسيج الحيوية لنبضات الليزر منخفضة التردد. الملاحظة العامة هي الحفاظ على الهيكل العام للنسيج مع حدوث تغيرات طفيفة في شدة الامتصاص مما يدل على أن التأثير يقع ضمن نطاق "التعديل الحيوي" (Biomodulation).

1. منطقة الروابط الهيدروجينية والمحتوى المائي (cm^{-1})(3600 – 3000):

تظهر القمة المتمركزة عند (cm^{-1})(3285) انخفاضاً طفيفاً في العمق مقارنة بالعينة الشاهدة.

التفسير: تعود هذه القمة لاهتزاز التمدد لروابط (O–H) في الماء و (N–H) في البروتينات (Amide A). التغير الطفيف يشير إلى إعادة ترتيب الروابط الهيدروجينية نتيجة امتصاص طاقة الليزر، مما قد يؤدي إلى تغير بسيط في حالة ترطيب الجزيئات الحيوية دون حدوث تجفيف كامل[44].

2. منطقة الأميد والبنية البروتينية (cm^{-1}) (1700 – 1500) :

تظهر قمة Amide I عن (cm^{-1}) 1648 وقمة Amide II عند(cm^{-1}) 1542

التفسير: بقاء هذه القمم حادة وواضحة يشير إلى أن البروتينات لا تزال تحتفظ ببنيتها الثانوية (alpha–helix). ومع ذلك فإن الانزياح البسيط في التردد (Wavenumber Shift) يعكس تفاعلاً ضوئياً ميكانيكياً محدوداً، حيث تؤدي النبضات بتردد 1 هرتز إلى اهتزازات جزيئية دون الوصول إلى عتبة التخثر الحراري (Thermal Coagulation)[46].

3. منطقة "بصمة الإصبع" (cm^{-1}) (1450 – 600):

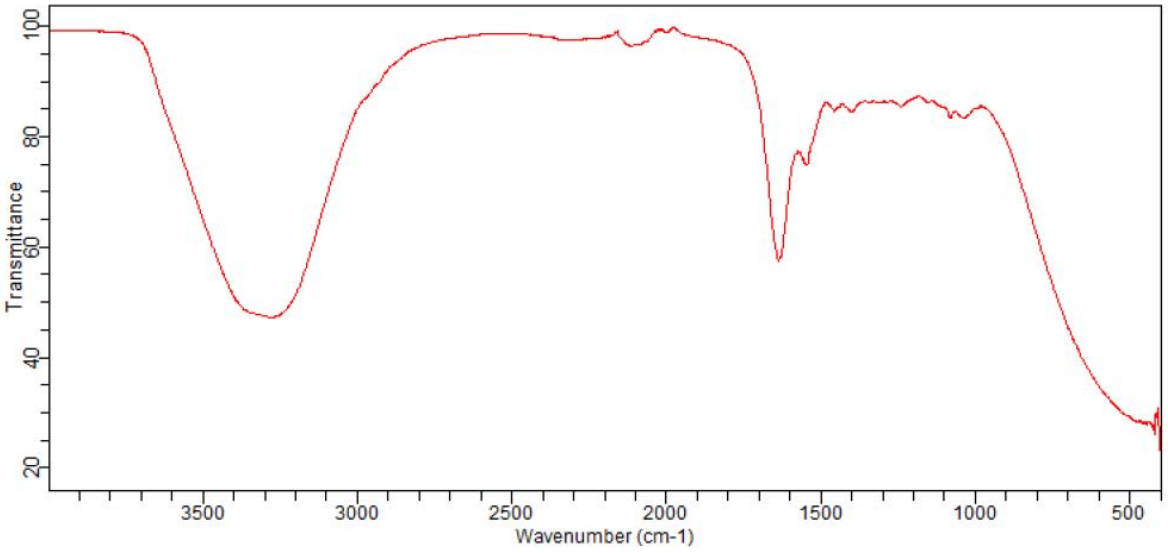
هذه المنطقة ضرورية لأنها تعكس استقرار الجزيئات الصغيرة والأحماض النووية:

الأحماض النووية (cm^{-1}) (1240 – 1080): تظهر القمم الخاصة بمجموعات الفوسفات (PO^{-2}) استقراراً في المظهر، مما يعني أن الليزر بتردد 1 هرتز لم يسبب ضرراً ملموساً للمادة الوراثية (DNA/RNA).

الكربوهيدرات (cm^{-1})(1030): القمة المتعلقة بالجليكوجين لا تزال واضحة مما يدل على عدم حدوث تحلل سكري عنيف في النسيج[45].

III–5–3–تحليل طيف FTIR للعينة(FP–02) (المعالجة بليزر 50 Hz):

بعد فحص العينة (FP–02) بجهاز FTIR أعطت الطيف الموضح في الشكل التالي :



الشكل III. 6: طيف الأشعة تحت الحمراء للعينة (FP-02)

يُظهر هذا الطيف التغيرات الجوهرية الناتجة عن التراكم الحراري (Thermal Accumulation) عند تردد 50 هرتز تكون الفترة الزمنية بين النبضات قصيرة جداً مما يمنع النسيج من تبديد الحرارة بشكل كافٍ ويؤدي إلى تحولات هيكلية عميقة في المكونات الجزيئية.

1. منطقة الروابط الهيدروجينية والماء (cm^{-1})(3600 – 13000)

تظهر القمة العريضة عند 3270 انخفاضاً ملحوظاً في الشدة وزيادة في العرض (Broadening) مقارنة بالعينة الشاهدة.

التفسير: يعود ذلك إلى فقدان المياه المرتبطة (Bound water) وتكسر في شبكة الروابط الهيدروجينية نتيجة الارتفاع السريع في درجة الحرارة. هذا "التجفيف المجهري" هو مؤشر أولى على التأثير الحراري العنيف للترددات العالية[49].

2. منطقة الأميد وتغير الطبيعة البروتينية (cm^{-1}) (1500 – 1700) :

نلاحظ انزياحاً واضحاً في قمة Amide I لتصبح عند 1638(cm^{-1}) وقمة Amide II عند (cm^{-1}) 1535.

التفسير: هذا الانزياح نحو أعداد موجية أقل (Red shift) هو الدليل القاطع على تغير الطبيعة البروتينية. الحرارة الناتجة عن تردد 50 هرتز أدت إلى فك طي السلاسل البروتينية وتحولها من

بنية (alpha –helix) المنتظمة إلى بنى عشوائية أو تجمعات (beta–sheet) غير منتظمة[46][49].

3. منطقة "بصمة الإصبع" (cm^{-1})(600 – 1450):

في هذه المنطقة، تظهر التغيرات الأكثر دقة والتي تعكس الضرر الجزيئي العميق:

الأحماض النووية والفوسفات(cm^{-1}) (1240 – 1080): يظهر اضطراب في شكل القمم الخاصة بمجموعات الفوسفات (PO^{-2}). هذا يشير إلى تضرر الروابط الفوسفاتية في DNA و RNA، مما يفسر التأثير القاتل للبكتيريا في هذه العينة تحديداً.

الكربوهيدرات والدهون (cm^{-1})(1100 – 900): نلاحظ "تسطحاً" في القمم، مما يدل على تحلل السكريات واضطراب في الأغشية الدهنية للخلايا نتيجة الإجهاد الحراري التصادمي[45][50].

III–5–4– مقارنة مجالات الطيف FTIR بين العينات

يبرز الجدول التالي تحليلا مقارنا لمجالات أطياف FTIR بين العينات المدروسة :

الجدول III. 1: يوضح أهم التغيرات في القمم الطيفية (FTIR) والمجموعات الوظيفية للعينات المدروسة

العينة (02)(50Hz)	العينة (01)(1Hz)	العينة (00) شاهدة	المنطقة الطيفية	المجال (cm–1)
انخفاض حاد وتوسيع عند 3270 (تجفيف).	انخفاض طفيف عند 3285 (إعادة ترتيب).	قمة حادة عند 3280 (تشبع مائي).	الروابط الهيدروجينية (O–H / N–H)	**3600 – 3000**
تسطح في القمم (تفكك دهون).	استقرار في القمم (لا تغيير).	قمم واضحة عند 2925 و 2850.	تمدد الروابط الدهنية (CH2 / CH3)	**3000 – 2800**
انزياح أحمر (Red Shift) إلى 1638 (تغير في الطبيعة البروتينية).	انزياح بسيط إلى 1648 (تفاعل مرن).	قمة قوية عند1645 (alpha–helix).	بروتين Amide I (C=O)	**1700 – 1600**

انخفاض في الشدة وانزياح إلى 1535.	استقرار عند 1542.	قمة واضحة عند 1540.	بروتين Amide II (N–H / C–N)	**1600– 1500**
تشوه واضطراب في شكل القمم (ضرر جزيئي).	الحفاظ على شكل القمم.	قمم حادة (سلامة المادة الوراثية).	مجموعات الفوسفات (DNA/RNA)	**1240 – 1080**
تلاشي جزئي للقمة (تحلل سكري حراري).	استقرار القمة	قمة واضحة عند 1080 (جليكوجين).	الكربوهيدرات (C–O)	**1100 – 900**

III–6– مناقشة النتائج الميكروبيولوجية

في إطار تقييم السلامة البيولوجية وضبط المتغيرات التجريبية لدراسة تأثير نبضات الليزر على أنسجة كبد الدجاج، تم إخضاع العينات الثلاث (العينة الشاهدة، والعينة المعالجة بتردد (1Hz) والعينة المعالجة بتردد (50Hz)) لفحص ميكروبيولوجي دقيق بمخبر 'ماريا لمراقبة الجودة والنوعية'. تهدف هذه الخطوة المنهجية إلى التأكد من الحالة الصحية الأولية للنسيج وضمان أن التغيرات الطيفية (FTIR) أو المورفولوجية الملاحظة لاحقاً تعود حصراً للتفاعل الضوئي–الحراري الناتج عن الليزر، وليست ناتجة عن أي تحلل بكتيري أو تلوث عرضي.

III–6–1 شرح المصطلحات التقنية

Germes recherchés (الجراثيم المفحوصة): هي الأنواع البكتيرية التي تُتخذ كمؤشر على تلوث العينة أو سلامتها.

Escherichia coli: هي بكتيريا تعيش بشكل طبيعي في أمعاء الإنسان والحيوان، ووجودها في الكبد يدل غالبًا على تلوث برازي أو ضعف في شروط النظافة أثناء الذبح أو التحضير.

Staphylococcus aureus (المكورات العنقودية الموجبة للكواغولاز): بكتيريا مرتبطة بالتهابات الأنسجة، ووجودها في العينة يشير عادة إلى تلوث ناتج عن اللمس البشري أو من بيئة غير معقمة.

Salmonella: تُعد من أخطر البكتيريا المسببة للتسمم الغذائي، ولهذا تشترط القوانين الصحية غيابها التام في المنتجات الغذائية.

ABS (Absence) : تعني "غياب"، أي أن الفحص المخبري لم يعثر على أي مستعمرة بكتيرية من هذا النوع في الكمية المفحوصة.

Limites microbiologiques (m & M):

m : الحد الأدنى المقبول (تحت هذا الرقم العينة ممتازة).

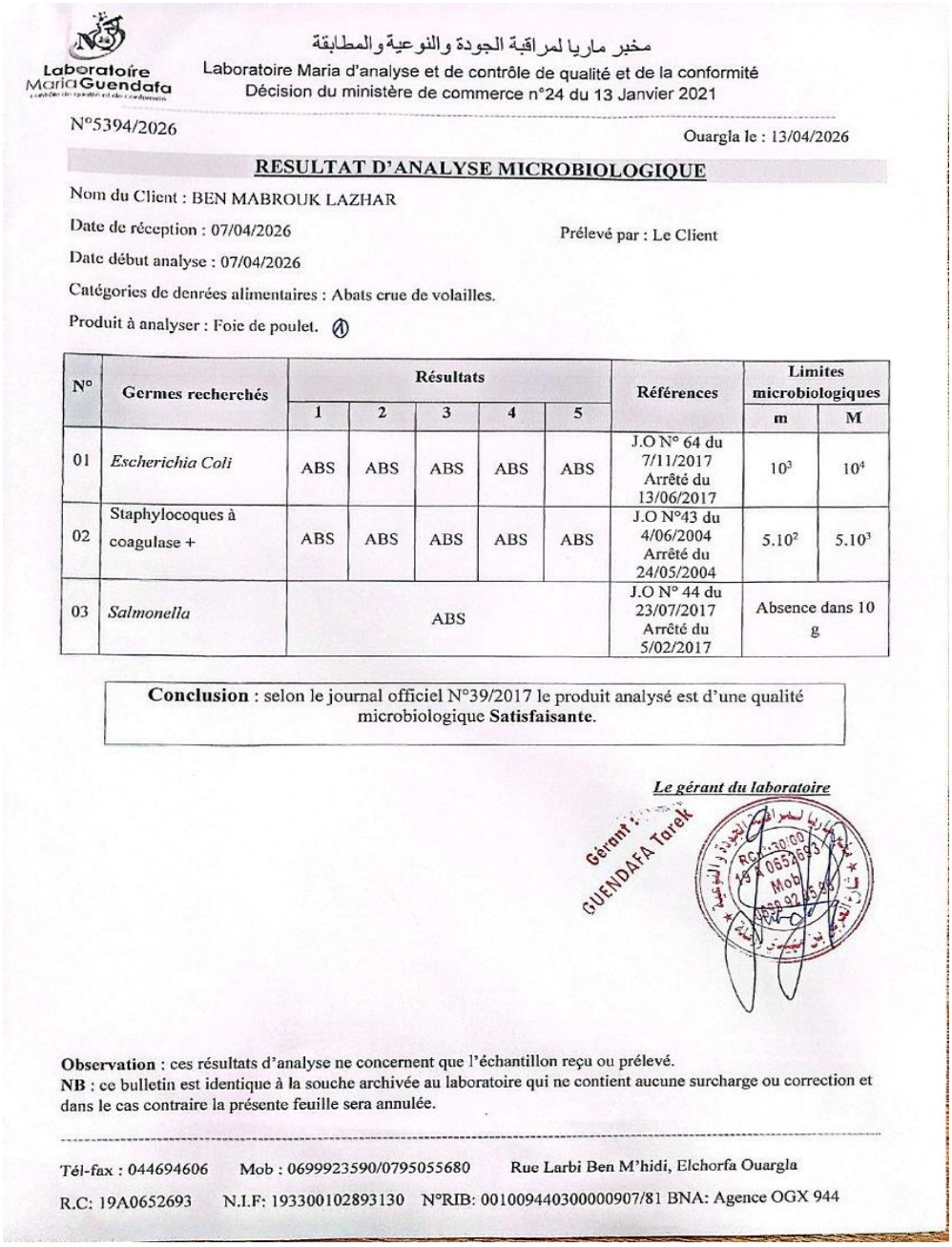
M : الحد الأقصى المسموح به (بين m و M العينة مقبولة بصعوبة، فوق M العينة فاسدة).

Satisfaisante (مرضية): مصطلح قانوني يعني أن العينة نظيفة تماماً وآمنة للاستهلاك البشري.

J.O (Journal Officiel) : الجريدة الرسمية، وهي المرجع القانوني الذي يحدد المعايير التي يجب أن يحترمها المختبر.

III-6-2- تحليل ومناقشة نتائج العينة الشاهدة (FP-00):

بعد اجراء التحاليل الميكروبيولوجية للعينة الشاهدة أعطت النتيجة الموضحة في الوثيقة التالية :



مخبر ماريا لمراقبة الجودة والنوعية والمطابقة
Laboratoire Maria d'analyse et de contrôle de qualité et de la conformité
Décision du ministère de commerce n°24 du 13 Janvier 2021

Laboratoire Maria Guendafa

N°5394/2026 Ouargla le : 13/04/2026

RESULTAT D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

Nom du Client : BEN MABROUK LAZHAR

Date de réception : 07/04/2026 Prélevé par : Le Client

Date début analyse : 07/04/2026

Catégories de denrées alimentaires : Abats crue de volailles.

Produit à analyser : Foie de poulet. (A)

N°	Germes recherchés	Résultats					Références	Limites microbiologiques	
		1	2	3	4	5		m	M
01	*Escherichia Coli*	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	J.O N° 64 du 7/11/2017 Arrêté du 13/06/2017	10^3	10^4
02	Staphylocoques à coagulase +	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	J.O N°43 du 4/06/2004 Arrêté du 24/05/2004	5.10^2	5.10^3
03	*Salmonella*	ABS					J.O N° 44 du 23/07/2017 Arrêté du 5/02/2017	Absence dans 10 g	

Conclusion : selon le journal officiel N°39/2017 le produit analysé est d'une qualité microbiologique **Satisfaisante**.

Le gérant du laboratoire

Gérant : GUENDAFA Tarek

Observation : ces résultats d'analyse ne concernent que l'échantillon reçu ou prélevé.
NB : ce bulletin est identique à la souche archivée au laboratoire qui ne contient aucune surcharge ou correction et dans le cas contraire la présente feuille sera annulée.

Tél-fax : 044694606 Mob : 0699923590/0795055680 Rue Larbi Ben M'hidi, Elchorfa Ouargla
R.C: 19A0652693 N.I.F: 193300102893130 N°RIB: 00100944030000907/81 BNA: Agence OGX 944

الشكل III. 7: نتائج التحاليل الميكروبيولوجية للعينة الشاهدة (FP-00)

1. تحليل البكتيريا المعوية (Escherichia Coli):

الملاحظة: النتيجة هي غياب تام (ABS) في جميع المكررات الخمسة، بينما تسمح المعايير بوجود حتى 10^3مستعمرة بكتيرية.

التفسير العلمي: غياب E. Coli يدل على نظافة عملية الذبح والتحضير وعدم حدوث تلوث برازي (Fecal contamination). هذا يضمن أن النسيج الكبدي في العينة الشاهدة نقي بيولوجياً.

2. تحليل المكورات العنقودية (+Staphylocoques à coagulase):

الملاحظة: النتيجة هي غياب تام (ABS)، والحد المسموح به هو 5.10^2.

التفسير العلمي: غياب هذا النوع يشير إلى انعدام التلوث البشري أثناء التداول حيث أن هذه البكتيريا ترتبط عادة بالبشر.

3. تحليل السالمونيلا (Salmonella) :

الملاحظة: غياب تام في 10 غرام من العينة.

التفسير العلمي: السالمونيلا هي بكتيريا ممرضة خطيرة، والمعايير الدولية والجزائرية تشترط غيابها التام. غيابها هنا يؤكد السلامة الصحية المطلقة للعينة الشاهدة.

النتيجة: بناءً على نتائج المخبر، العينة الشاهدة ذات جودة ميكروبيولوجية **مرضية (Satisfaisante)** وفقاً للقرار الوزاري المؤرخ في 13 جوان 2017 (الجريدة الرسمية رقم 2017/39).

III-6-3- تحليل ومناقشة نتائج العينة (FP-01)المعالجة (بليزر1Hz) :

بعد اجراء التحاليل الميكروبيولوجية للعينة (FP-01) أعطت النتائج التالية :

مخبر ماريا لمراقبة الجودة والنوعية والمطابقة
Laboratoire Maria d'analyse et de contrôle de qualité et de la conformité
Décision du ministère de commerce n°24 du 13 Janvier 2021

N°5395/2026 Ouargla le : 13/04/2026

RESULTAT D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

Nom du Client : BEN MABROUK LAZHAR

Date de réception : 07/04/2026 Prélevé par : Le Client

Date début analyse : 07/04/2026

Catégories de denrées alimentaires : Abats crue de volailles.

Produit à analyser : Foie de poulet.

N°	Germes recherchés	Résultats					Références	Limites microbiologiques	
		1	2	3	4	5		m	M
01	*Escherichia Coli*	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	J.O N° 64 du 7/11/2017 Arrêté du 13/06/2017	10^3	10^4
02	Staphylocoques à coagulase +	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	J.O N°43 du 4/06/2004 Arrêté du 24/05/2004	5.10^2	5.10^3
03	*Salmonella*	ABS					J.O N° 44 du 23/07/2017 Arrêté du 5/02/2017	Absence dans 10 g	

Conclusion : selon le journal officiel N°39/2017 le produit analysé est d'une qualité microbiologique **Satisfaisante**.

Le gérant du laboratoire

Gérant : GUENDAFA Tarek

Observation : ces résultats d'analyse ne concernent que l'échantillon reçu ou prélevé.
NB : ce bulletin est identique à la souche archivée au laboratoire qui ne contient aucune surcharge ou correction et dans le cas contraire la présente feuille sera annulée.

Tél-fax : 044694606 Mob : 0699923590/0795055680 Rue Larbi Ben M'hidi, Elchorfa Ouargla

R.C: 19A0652693 N.I.F: 193300102893130 N°RIB: 00100944030000090781 BNA: Agence OGX 944

الشكل III. 8: نتائج التحاليل الميكروبيولجية للعينة (FP-01)

1. تحليل بكتيريا Escherichia Coli:

الملاحظة: غياب تام (ABS) في جميع المكررات الخمسة.

التفسير العلمي: بقاء هذه البكتيريا غائبة يؤكد أن المعالجة بتردد 1 هرتز لم تسبب أي تلوث عرضي، كما أن الطاقة المنبعثة في هذا التردد حافظت على نظافة النسيج من البكتيريا المؤشرة على التلوث البرازي.

2. تحليل بكتيريا Staphylocoques à coagulase+:

الملاحظة: غياب تام (ABS).

التفسير العلمي: يشير هذا الغياب إلى استمرار سلامة العينة من التلوث البشري أو الجلدي أثناء عملية المعالجة بالليزر، مما يعكس ظروف تعقيم جيدة للمحيط التجريبي.

3. تحليل بكتيريا Salmonella:

الملاحظة: غياب تام (ABS) في 10غرام.

التفسير العلمي: السالمونيلا هي بكتيريا عالية الخطورة؛ غيابها هنا يعد مؤشراً حيوياً على أن العينة 01 لا تزال تحتفظ بمعايير السلامة الصحية الصارمة.

النتيجة (Conclusion)

بناءً على معايير الجريدة الرسمية رقم 2017/39، تُصنف العينة 01 على أنها ذات جودة ميكروبيولوجية **مرضية (Satisfaisante)**.

III-6-4- تحليل ومناقشة نتائج العينة(FP– 02) المعالجة (بليزر 50Hz):

بعد اجراء التحاليل الميكروبيولوجية للعينة (FP– 02) أعطت النتائج التالية :

مخبر ماريا لمراقبة الجودة والنوعية والمطابقة
Laboratoire Maria d'analyse et de contrôle de qualité et de la conformité
Décision du ministère de commerce n°24 du 13 Janvier 2021

Laboratoire Maria Guendafa

N°5396/2026 Ouargla le : 13/04/2026

RESULTAT D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

Nom du Client : BEN MABROUK LAZHAR

Date de réception : 07/04/2026 Prélevé par : Le Client

Date début analyse : 07/04/2026

Catégories de denrées alimentaires : Abats crue de volailles.

Produit à analyser : Foie de poulet. (3)

N°	Germes recherchés	Résultats					Références	Limites microbiologiques	
		1	2	3	4	5		m	M
01	*Escherichia Coli*	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	J.O N° 64 du 7/11/2017 Arrêté du 13/06/2017	10^3	10^4
02	Staphylocoques à coagulase +	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	J.O N°43 du 4/06/2004 Arrêté du 24/05/2004	5.10^2	5.10^3
03	*Salmonella*	ABS					J.O N° 44 du 23/07/2017 Arrêté du 5/02/2017	Absence dans 10 g	

Conclusion : selon le journal officiel N°39/2017 le produit analysé est d'une qualité microbiologique **Satisfaisante**.

Le gérant du laboratoire

Gérant : GUENDAFA Tarek

Observation : ces résultats d'analyse ne concernent que l'échantillon reçu ou prélevé.
NB : ce bulletin est identique à la souche archivée au laboratoire qui ne contient aucune surcharge ou correction et dans le cas contraire la présente feuille sera annulée.

Tél-fax : 044694606 Mob : 0699923590/0795055680 Rue Larbi Ben M'hidi, Elchorfa Ouargla

R.C: 19A0652693 N.I.F: 193300102893130 N°RIB: 00100944030000907/81 BNA: Agence OGX 944

الشكل III. 9: نتائج التحاليل الميكروبيولوجية للعينة (FP–02)

1.تحليل بكتيريا Escherichia Coli:

الملاحظة: غياب تام (ABS) في جميع المكررات الخمسة.

التفسير العلمي: يعكس هذا الغياب كفاءة المعالجة بالتردد العالي (50 هرتز) في منع أي نشاط بكتيري معوي. فيزيائياً، يؤدي هذا التردد إلى تراكم حراري كافٍ لتدمير الأغشية الخلوية لهذه البكتيرياما يضمن تعقيماً فيزيائياً فعالاً للنسيج.

2. تحليل بكتيريا + Staphylocoques à coagulase:

الملاحظة: غياب تام (ABS).

التفسير العلمي: غياب هذا النوع يؤكد أن العينة لم تتعرض لأي تلوث ناتج عن التداول البشري خلال فترة المعالجة الطويلة نسبياً كما يشير إلى أن التأثير الحراري لليزر قد قضى على أي جراثيم سطحية محتملة.

3. تحليل بكتيريا Salmonella:

الملاحظة: غياب تام (ABS) في 10 غرام.

التفسير العلمي: بما أن المعايير الدولية تشترط انعدام هذا الجنس البكتيري فإن النتيجة تؤكد أن المعالجة بـ 50 هرتز حافظت على أمان العينة الصحي بل وعززته من خلال التأثير القاتل للحرارة التراكمية على السلالات الممرضة.

النتيجة :

بناءً على معايير الجريدة الرسمية رقم 2017/39 تُصنف العينة (FP-02) على أنها ذات جودة ميكروبيولوجية **مرضية (Satisfaisante).**

III-7- الربط التحليلي بين النتائج الميكروبيولوجية ومطيافيةFTIR:

يعتبر الربط بين التحليل الميكروبيولوجي (التقييم النوعي للسلامة) ومطيافية FTIR (التقييم الجزيئي للبنية) حجر الزاوية في فهم تأثير الليزر على الأنسجة الحيوية. تظهر النتائج المدمجة وجود علاقة طردية بين استقرار الحالة الصحية للعينة واستقرار بصمتها الطيفية.

1. حالة الاستقرار التام (العينة الشاهدة (FP-00) والعينة (FP-01) :

أكدت الفحوصات الميكروبيولوجية أن العينة الشاهدة والعينة المعالجة بتردد 1 هرتز تقعان ضمن فئة "الجودة المرضية" (Satisfaisante) مع غياب تام للجراثيم الممرضة.

الربط الفيزيو-بيولوجي:

هذا الغياب الميكروبي يتوافق مع ثبات قمم الأميد I عند العدد الموجي (cm^{-1})(1645-1648) في طيف FTIR.

التفسير: إن سلامة النسيج من التحلل الميكروبي تعني بقاء الروابط الببتيدية للبروتينات والروابط الفوسفاتية للأحماض النووية في حالتها الأصلية دون تعرضها للتحلل الإنزيمي (Enzymatic Degradation) الذي تسببه عادة الإفرازات البكتيرية. التردد المنخفض (1 هرتز) لم يولد طاقة حرارية كافية لكسر هذه الروابط، مما حافظ على التوافق بين "النظافة البيولوجية" و"الاستقرار الطيفي".

2. حالة التحول الهيكلي والتعقيم الحراري (العينة(FP-02) :

رغم أن التحليل الميكروبيولوجي للعينة المعالجة بتردد 50 هرتز أظهر نتيجة "مرضية" (Satisfaisante) وغياباً للجراثيم إلا أن طيف FTIR كشف عن تغيرات جوهرية في بنية المادة.

الربط الفيزيو-بيولوجي:

نلاحظ انزياحاً في قمة الأميد نحو(cm^{-1}) 1638 واضطراباً في شدة قمم بصمة الإصبع

(cm^{-1}) (1080-1240)

التفسير : النتيجة الميكروبيولوجية "ABS" في هذه الحالة ليست ناتجة فقط عن نظافة العينة الأصلية، بل هي معززة بآلية القتل الفيزيائي (Physical Inactivation). التردد العالي (50 هرتز) أدى إلى تراكم حراري تسبب في تغير الطبيعة البروتينية وتخثرها ضوئياً، وهو ما رصده جهاز FTIR بدقة. تغيرالطبيعة البروتينية وتضرر الأحماض النووية هو الذي يمنع أي نشاط بكتيري مما يجعل الليزر في هذا التردد يعمل كأداة تعقيم فيزيائية قوية [46].

جدول ملخص نتائج الدراسة الفيزيو-بيولوجبة للعينات:

يلخص الجدول التالي المقارنة بين الترددات المستخدمة والنتائج الميكروبيولجية مع التفسير البنيوي للتغيرات الطيفية :

الجدول III. 2: ملخص بين مطيافية FTIR والنتائج الميكروبيولجية

العينة	التردد	النتيجة الميكروبيولوجية	التغير الطيفي (FTIR)	التفسير
00	0Hz	Satisfaisante (ABS)	استقرار القمم (Control)	حالة نسيجية مثالية وسليمة بيولوجيًا.
01	1Hz	Satisfaisante (ABS)	تغيرات طفيفة (PBM)	"تحفيزي" يحافظ على البنية الحيوية.
02	50Hz	Satisfaisante (ABS)	انزياح وتغير الطبيعة بروتينية	تأثير "تعقيمي حراري" يغير البنية الجزيئية.

III-8- الاستنتاج :

تُشير النتائج الميكروبيولوجية التي حافظت على تصنيف "مرضية" (Satisfaisante) في جميع العينات المدروسة إلى أن عملية المعالجة بالليزر بمختلف تردداتها تمت في ظروف بيئية وتقنية محكومة لم تسمح بحدوث أي تلوث خارجي للنسيج. والأهم من ذلك أن الانتقال إلى التردد العالي (50 هرتز) قدّم "ضمانة فيزيائية" إضافية للسلامة الصحية حيث أن الطاقة التراكمية المتولدة عند هذا التردد ساهمت في إحداث تفكك بنيوي حراري للبروتينات البكتيرية (Protein Denaturation) وتدمير أنظمتها الحيوية. هذا التحول الهيكلي الذي رصده جهاز FTIR يفسر غياب النشاط الجرثومي ليس فقط كحالة نظافة أوليةبل كاستجابة فيزيائية مباشرة لآلية القتل الحراري النبضي مما يعزز موثوقية الليزر كأداة فعالة للتعقيم الحيوي.

خاتمة وتوصيات :

مثلت هذه الدراسة التطبيقية محاولة لاستكشاف التأثيرات المتبادلة لليزر النبضي على الخصائص الجزيئية والميكروبيولوجية لأنسجة كبد الدجاج، حيث كشفت النتائج المدمجة عن توافق جوهري بين التغيرات الطيفية المرصودة وجاهزية النسيج الصحية. فمن خلال قراءة شاملة للنتائج تبين أن المعالجة بالليزر ضمنت سلامة العينات من أي تلوث خارجي محققةً معايير الجودة "المرضية" وفق التشريعات المعمول بها إلا أن تقنية FTIR سمحت بالغوص في تفاصيل أعمق من التحليل الميكروبيولوجي التقليدي فقد أظهرت أن الترددات المنخفضة (1Hz) تعمل كأداة تحفيزية تحافظ على الاستقرار الهيكلي للبروتينات والروابط الفوسفاتية بينما الترددات العالية (50Hz) تُحدث "تعقيماً حرارياً" ناتجاً عن التراكم الطاقي الذي يؤدي الى تغير الطبيعة البروتينية وتخثرها ضوئياً مما يمثل ضمانة فيزيائية لإبادة الميكروبات عبر تدمير أنظمتها الحيوية. وبناءً على ذلك نستنتج أن مطيافية الأشعة تحت الحمراء تمثل مجساً حيوياً فائق الحساسية لتقييم جودة الأغذية المعالجة فيزيائياً مما يسمح بتحديد الجرعات الليزرية التي تضمن الأمان الصحي دون المساس العميق بالبنية الأصلية للنسيج.

بناءً على مخرجات هذا البحث، نوصي بضرورة تعميق الدراسات المستقبلية من خلال التركيز على ضبط "الجرعة الليزرية" المثالية التي تحقق التوازن الدقيق بين الفعالية في التعقيم والحفاظ على القيمة الغذائية مع اقتراح توسيع نطاق التجارب لتشمل ترددات متوسطة تتيح رصد "نقطة التحول" الهيكلية للبروتينات. كما نقترح دمج التحاليل الإنزيمية المتقدمة ودراسات "مدة الصلاحية" (Shelf-life) لتقييم أداء الليزر في إطالة عمر المنتجات الغذائية المخزنة بالإضافة إلى تطبيق هذا البروتوكول على أنواع مختلفة من الأنسجة الحيوية لمقارنة مدى استجابتها لآليات التحفيز والتعقيم الضوئي مما يفتح آفاقاً واعدة لتبني الليزر كتقنية نظيفة وفعالة في الصناعات الغذائية الحديثة.

خاتمة

خاتمة:

تبيّن من خلال هذه الدراسة أن الإشعاع الكهرومغناطيسي تُعد وسيلة فعالة لدراسة تأثير أشعة اليزر على الأنسجة البيولوجية، بفضل خصائصها الفيزيائية المميزة مثل التماسك والاتجاهية[27].

كما أظهرت النتائج أن استجابة النسيج البيولوجي ترتبط بتركيبه الكيميائي، خاصة محتواه من الماء والبروتينات والدهون، إضافة إلى دور الكروموفورات في امتصاص الطاقة الليزرية[51].

وقد بيّن التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) وجود تغيرات في البنية الجزيئية لعينات كبد الدجاج، خاصة في مجال البصمة، مع ازدياد وضوح هذه التغيرات عند الترددات المرتفعة[50].

في المقابل، لم تُظهر التحاليل الميكروبيولوجية أي تغير في جودة العينات، حيث كانت النتائج متوافقة مع المعايير مما يدل على أن شروط التعريض لم تؤثر على السلامة الميكروبيولوجية[52].

وفي الأخير، تفتح هذه النتائج آفاقًا لاستخدام الليزر كأداة تحليلية في المجالات البيولوجية والطبية مع ضرورة توسيع نطاق الدراسات مستقبلاً لتشمل شروطًا وتجارب أكثر تنوعًا.

قائمة المـــراجع

قائمة المـــــــــراجع:

[1] Fowles, G. R. (1989). *Introduction to Modern Optics* (2nd ed.). New York: Dover Publications.

[2] Siegman, A. E. (1986). *Lasers*. University Science Books.

[3] Wang, L. V., & Wu, H. (2007). *Biomedical Optics: Principles and Imaging*. Hoboken: Wiley.

[4] Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Chichester: John Wiley & Sons.

[5] Enderle, J. D., & Bronzino, J. D. (2012). *Introduction to Biomedical Engineering* (3rd ed.). Academic Press.

[6] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.

[7] Hecht, E. (2017). *Optics* (5th ed.). Pearson.

[8] Svelto, O. (2010). *Principles of Lasers* (5th ed.). Springer.

[9]عبد القادر، أحمد، وأمين، محمد. (2009). *الطاقة الشمسية: المصدر الرئيسي للطاقة*. القاهرة: دار الفكر العربي، الطبعة الأولى.

[10]منظمة الصحة العالمية. (2006). *Electromagnetic Hypersensitivity: وقائع ورشة العمل الدولية حول فرط الحساسية للمجالات الكهرومغناطيسية، براغ، جمهورية التشيك، 25–27 أكتوبر 2004*. جنيف: منظمة الصحة العالمية.

[11]شواهين، خ. س. (2020). *الطيف الكهرومغناطيسي*. القاهرة: دار المعرفة العلمية.

[12]رابط إلكتروني: https://share.google/LJD3K1CELGSPzRiih

[13] OpenStax. (2020). *Physics, Section 15.1: The Electromagnetic Spectrum*. OpenStax, Rice University.

[14] UCAR Center for Science Education. *Visible Light*. متاح على الرابط: https://scied.ucar.edu11:49 الساعة 2026/02/03، تاريخ الاطلاع: .

[15] بيالا، ليكيل .(1984) *الليزرات*. ترجمة: فاروق عبودي قصري، جامعة الموصل، الطبعة الأولى، 2008.

[16] Delcroix, J.-L., & Bers, A. (1994). *Physique des Plasmas*. InterEditions / CNRS Édition.

[17] بن عمر شبة. (2024). كيف يعمل الليزر؟ وكيف تتولد أشعته؟ مدونة ببيوتك، 10 أفريل 2024. متاح على الرابطhttps://www.b-biotech.net :، تاريخ الاطلاع: 2024/02/21، الساعة 10:05 م.

[18] بوحطة، ربيعة، وحرير، نور الهدى .*دراسة طيفية لعنصر الإيتربيوم في بعض أنواع الزجاج*. جامعة قاصدي مرباح ورقلة، أطروحة دكتوراه.

[19] Herd, R. M., Dover, J. S., & Arndt, K. A. (1997). Basic laser principles. *Dermatologic Clinics*, 15(3), 355–372.

[20] رابط إلكتروني: https://share.google/3H5khbbl3SkOlhPM6

[21] الأعرجي، صلاح مصطفى .(2008) *الليزر وأسس استخداماته*. دار دجلة، جامعة دهوك، الطبعة الأولى.

[22] الحجازي، مسعود بن حبيب .*الليزر وتطبيقاته*. جامعة أم القرى.

[23] رابط إلكتروني: https://share.google/3apDQlUjMXc0DEPW1

[24] حسن، عبد الكريم محمد .*أساسيات الليزر وتطبيقاته*. كتاب جامعي، قسم الفيزياء.

[25] بن حامد، رقية، وبن قدور، هناء .(2014) *الليزر وتطبيقاته*. جامعة الوادي، الجزائر.

[26] عبد الله، أحمد حسين .(2010) *فيزياء الليزر وتطبيقاته الحديثة*. عمّان: دار المسيرة للنشر والتوزيع.

[27] Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2007). *Fundamentals of Photonics* (2nd ed.). Wiley-Interscience.

[28] الريس، مخلص عبد الحليم. (1989). *الليزر وتطبيقاته*. دار الفكر المعاصر.

[29] كوسا، محمد. (2005–2006). *أجهزة الليزر وتطبيقاته*. قسم الفيزياء، جامعة دمشق.

[30] Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry* (7th ed.). W. H. Freeman.

[31] World Health Organization. (2004). *Laboratory Biosafety Manual* (3rd ed.). Geneva: WHO.

[32] Yakhlef, M. (2024). *Laboratory Management* (pp. 11–12). جامعة قالمة .

[33] Yang, L. L. (2020). Anatomy and physiology of the liver. In *Anesthesia for Hepatico-Pancreatic-Biliary Surgery and Transplantation*. Springer.

[34] Arias, I. M. The Liver: Morphology, Biochemistry, Physiology. Raven Press, 1988, pp. 3–8.

[35] https://share.google/fPQRwJnEgCN7HCwo0.

[36] إبراهيم، غادة. (2017). تعرف على وظائف الكبد المتعددة في جسم الإنسان.

[37] Duck, F. A. (1990). Physical Properties of Tissues: A Comprehensive Reference Book. Academic Press.

[38] Hoshi, Y., & Yamada, Y. (2024). Study of Minor Chromophores in Biological Tissues by Diffuse Optical Spectroscopy. Scientific Reports.

[39] World Health Organization. (2020). Laboratory Biosafety Manual (4th ed.). Geneva: WHO.

[40] b.biotech.net https://www.b-biotech.net 38/01/2026 19:28

[41] https://share.google/3TJO6UrAtoAWptXck 22/02/2026 21:22

[42] Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). Molecular Biology of the Cell (6th ed.). New York: Garland Science

[43] Griffiths, P. R., & De Haseth, J. A. (2007). Fourier Transform Infrared Spectrometry (2nd ed.). Wiley-Interscience.

[44] Diem, M. (2015). Modern Vibrational Spectroscopy and Micro-Spectroscopy: Theory, Instrumentation and Biomedical Applications. John Wiley & Sons.

[45] Movasaghi, Z., et al. (2008). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. Applied Spectroscopy Reviews, 43(2), 134-179.

[46] Barth, A. (2007). Infrared spectroscopy of proteins. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 1767(9), 1073-1101.

[47] Kong, J., & Yu, S. (2007). Fourier transform infrared spectroscopic analysis of protein secondary structures. Acta Biochimica et Biophysica Sinica, 39(8), 549-559

[48] Niemz, M. H. (2019). Laser-Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. Springer Nature.

[49] Jackson, M., & Mantsch, H. H. (1995). The use and misuse of FTIR spectroscopy in the determination of protein structure. Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology, 30(2), 95-120.

[50] Bellisola, G., & Sorio, C. (2012). Infrared spectroscopy and microscopy in cancer research and diagnosis. American Journal of Cancer Research, 2(3), 334.

[51] Popp, J., & Wolff, M. (2004). Optics in Biomedical Sciences. Berlin: Springer

[52] Adams, M. R., & Moss, M. O. (2008). Food Microbiology (3rd ed.). Cambridge: Royal Society of Chemistry.