



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل  
كلية التربية للعلوم الصرفة  
قسم الفيزياء / الدراسة الصباحية

دراسة الخصائص البصرية الخطية واللاخطية  
لصبغة Acid Red 27 العضوية

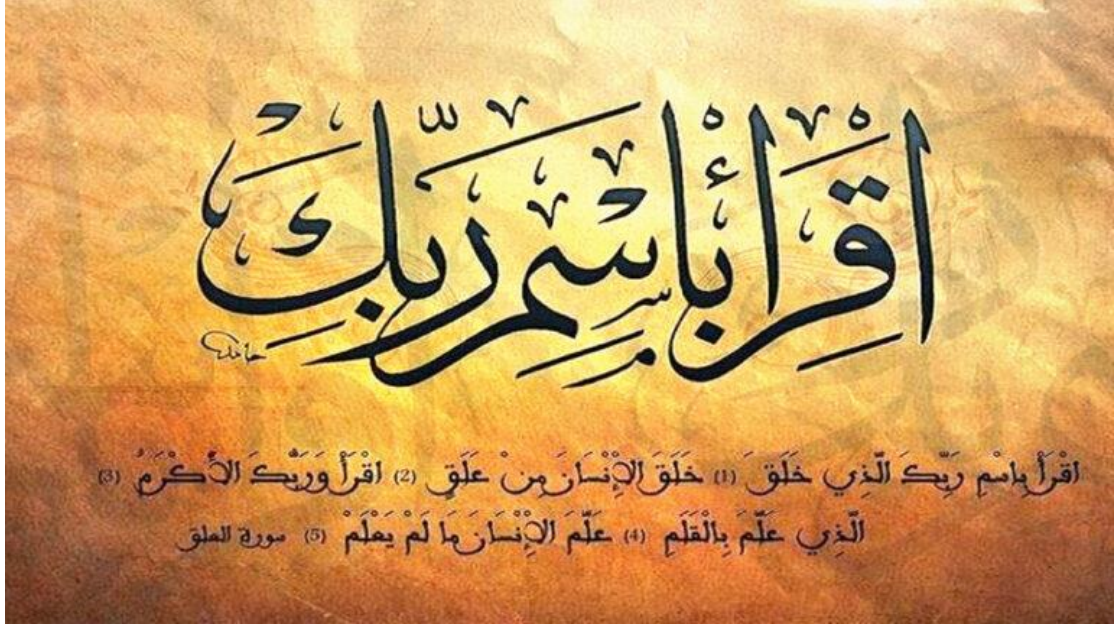
الى جامعة بابل/كلية التربية للعلوم الصرفة – قسم الفيزياء كجزء من متطلبات  
نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

من قبل الطالب

باقر محمد حسين

بإشراف

أ.د.طالب محسن عباس



سورة العلق المباركة

## الإهداء

إلى من كانوا نورا يضيء دربي، وسندا أتكى عليه في كل خطوة  
.... إلى والدي العزيزين، رمز العطاء والصبر، وكل منبع للحب  
والدعاء... إلى أساتذتي الأفاضل الذين لم يبخلوا بعلمهم  
وتوجيههم.... إلى أصدقائي الذين شاركوني لحظات التعب  
والنجاح.... أهدي هذا البحث، عربون شكر وامتنان، وتقدير لكل  
من ساهم في وصولي إلى هذه.

## الشكر والتقدير

يطيب لي بعد شكر الله تعالى وحمده أن أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى الأستاذ المشرف

(أ.د. طالب محسن عباس). الذي تفضل بقبول الإشراف على بحثي ، ومنحني من علمه، وصرف لي جل وقته ليظهر البحث بصورة مرضية .

وكما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من مد يد العون لي في إتمام بحثي

.

## الخلاصة

في هذا البحث تمت دراسة الخواص الخطية والخواص اللاخطية للصبغات العضوية Acid (Neutral Red و Red27) بتراكيز مختلفة ( $10^{-5}$ ,  $2 \times 10^{-5}$ ,  $7 \times 10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $7 \times 10^{-4}$ ) في وسطين مختلفين السائل الصبغة مذابة في مذيب (ماء، إيثانول، ميثانول، البوليمر) والصلب (الصبغات مع بوليمر PVA على شكل غشاء رقيق) وكذلك تم إختبار صلاحيتها لتطبيق مبدأ عمل المفتاح الضوئي وإختباره تحت عوامل مختلفة منها الشدة وتركيز أشعة الليزر المستمر ذو الطول الموجي 532nm.

وأظهرت نتائج Z-scan للفتحة المفتوحة إن معامل الإمتصاص اللاخطي ( $\beta$ ) لصبغة Acid Red27 ذو قيمة سالبة أي إن سلوك الوسط هو الإمتصاص المشبع (SA) وكذلك قيمته تزداد بزيادة التركيز. حيث إن قيمة ( $\beta$ ) لصبغة Acid Red 27 للتركيز ( $10^{-5}$ ,  $2 \times 10^{-5}$ ,  $10^{-5}$  M)  $4,7 \times 10^{-5}$ ,

وعلى التوالي ( $-1.05069 \times 10^{-5}$ ,  $-2.15995 \times 10^{-5}$ ,  $-1.88436 \times 10^{-4}$ ,  $-4.25923 \times 10^{-4}$  cm/W) كما أثبتت نتائج Z-scan للفتحة المغلقة إن معامل الإنكسار اللاخطي لكلا الصبغتين هو سالب (self – defocusing) وأيضا يزداد بزيادة تركيز الصبغة. حيث إن قيمة ( $n_2$ ) لصبغة Acid Red 27 للتركيز ( $10^{-5}$ ,  $2 \times 10^{-5}$ ,  $7 \times 10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ) وعلى التوالي ( $-9.68791 \times 10^{-7}$  cm<sup>2</sup>/W)  $-2.0155 \times 10^{-7}$ ,  $-2.7118 \times 10^{-7}$ ,  $-3.4067 \times 10^{-7}$  ، ولصبغة Neutral Red للتركيز ( $10^{-4}$ ,  $7 \times 10^{-5}$  M) ( $-2.4963 \times 10^{-7}$ ,  $-4.1313 \times 10^{-7}$  cm<sup>2</sup>/W).

وإن نتائج إختبار صلاحية الصبغات لمعاملات مختلفة تبين إن عدد حلقات الحيود في كلا الصبغتين تزداد مع زيادة تركيز الصبغة وشدة أشعة الليزر المسيطر ذات الطول الموجي (532 nm) كما يثبت إمكانية تضمين شعاع الليزر الإشارة باستخدام شعاع الليزر المسيطر وبترددات مختلفة (50,100,150,200,250 Hz).

## قائمة المحتويات

I	الخلاصة.....
٦	قائمة المحتويات .....
VII	قائمة الاشكال.....
XIII	قائمة الجداول .....

### الفصل الاول (المقدمة)

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
1	المقدمة	1-1
2	البصريات اللاخطية	2-1
4	المواد ذات الخواص البصرية اللاخطية	3-1
5	المواد العضوية	1-3-1
5	البلورات السائلة	2-3-1
5	اشباه الموصلات	3-3-1
6	الدراسات السابقة	1-4
9	الهدف من البحث	1-5

### الفصل الثاني (الجزء النظري)

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
11	المقدمة	1-2
11	الأنظمة البصرية	2-2
11	النظام البصري الخطي	1-2-2
13	الأنظمة البصرية اللاخطية	2-2-2
15	الظواهر اللاخطية	3-2
16	الإمتصاص اللاخطي Nonlinear Absorption	1-3-2
16	آلية الامتصاص المتعدد الفوتون	1-1-3-2
17	الامتصاص العكسي المشبع Reverse Saturable Absorption (RAS)	2-1-3-2
17	امتصاص الناقل الحر Free carrier absorption	3-1-3-2
17	الإنكسار اللاخطي Nonlinear refraction	2-3-2

18	آليات قياس الخواص اللاخطية	2-4
18	آلية Z-scan	2-5
18	التبئير الذاتي Self-focusing	2-5-1
22	التفريق الذاتي Self-defocusing	-2-5-2
23	خواص حزمة الليزر	6-2
24	التأثير الحراري البصري	2-7
24	تأثير كير Kerr effect	2-8
25	الامتصاص المشبع Saturable absorption	2-9

## الفصل الثالث (الجزء العملي)

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
27	المقدمة	1-3
27	المواد المستخدمة	2-3
27	صبغة Acid Red 27	2-3
28	المذيبات	3-3
30	تحضير العينات	4-3
30	تحضير محلول لصبغه Acid Red27	3-5
35	مصدر الليزر	1-5-3
35	العدسات	2-5-3
35	الكاشف الضوئي	3-5-3

## الفصل الرابع (النتائج والمناقشة)

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
37	المقدمة	1-4
37	الخصائص البصرية الخطية	2-4
37	طيف الامتصاص لصبغة Acid Red 27 المذابة في الميثانول	3-4
43	الإستنتاجات	4-4
44	المصادر	

## قائمة الجداول

رقم الصفحة	العنوان	رقم الجدول
27	Acid Red 27 صبغة	1-3
28	خصائص الميثانول	2-3
29	خصائص الايثانول	3-3
38	خصائص طيف الامتصاص لصبغة Acid Red 27 في الميثانول	1-4
42	الخصائص اللاخطية للصبغة Acid Red 27 بدون البوليمر المذابة بالميثانول للفتحة المفتوحة والمغلقة باستخدام ليزر ذو طول موجي 532 nm عند الشدة $2.78 \text{ KW/cm}^2$	2-4

---

# الفصل الاول

## المقدمة

## 1-1 المقدمة

في السنوات الأخيرة ، لعبت البصريات غير الخطية دورًا مهمًا في تكنولوجيا البصريات حيث زاد البحث عن مواد لخطية جديدة ذات صفات بصرية لخطية عالية بسبب تطبيقاتها الكثيرة في البصريات المتكاملة مثل تضمين المعلومات البصرية ، وتخزين البيانات الضوئية ، المحدد البصري ، التصوير المجهرى للفلورة [1] والمفاتيح البصرية وغيرها من التطبيقات الألكترونية.

أحد التطبيقات العملية للبصريات اللاخطية هو المفتاح البصري (optical switch) والذي أستخدم بشكل واسع في الإتصالات الضوئية والذي يعتمد في عمله على سرعة التحويل والعمل ضمن نطاق ترددي واسع وتم تحقيق عمله على نطاق واسع في المواد البصرية اللاخطية من الدرجة الثالثة ويكون عمل المفتاح البصري عن طريق إستخدام ليزرين أحدهما المسيطر (controlling Laser) ويكون ذو شدة عالية والآخر ليزر الإشارة (signal Laser) ويكون ذو شدة واطئة يعمل على قراءة تغيرحالة الليزر المسيطرو لتحقيق التفاعل بكفاءة بين ليزرين مختلفين ، من المستحسن أن يمتلك الوسط البصري اللاخطي المستخدم لخطية عالية ، وحد عتبة إتلاف عالية [2] .

يركز هذا البحث على المواد العضوية لأنها مواد يعتمد تطويرها بشدة على التطورات في الكيمياء التركيبية والفيزيائية والنظرية وتعتبر المواد العضوية ذات أهمية كبيرة بسبب تكلفتها المنخفضة نسبيًا وسهولة التصنيع والتكامل في الأجهزة ومرونة تشكيلها التي تسمح بضبط التركيب الكيميائي والخصائص العملية البصرية اللاخطية ولها حد عتبة عالي لتلف عند استخدام الليزر، وثوابت عزل منخفضة ، وزمن استجابة ضوئية لخطية سريعة [3].

و في هذا البحث ستم دراسة محاليل الصبغات العضوية (Acid Red 2)

باعتبارها واعدة في تحقيق مبدأ عمل المفتاح البصري نظرا للصفات التي تتميز بها هذه الصبغات العضوية من كفاءة عالية وزمن استجابة سريع وحجم صغير ووزن قليل وتششت قليل.

## 1-2 البصريات اللاخطية

البصريات اللاخطية هي دراسة تأثير الضوء عالي الشدة على المواد اللاخطية ، والتي لا تعتمد كثافة إستقطابها خطيًا على المجال الكهربائي للضوء. ظهر هذا المجال بعد إكتشاف الليزر من قبل ميمان في عام 1960 [ 4 ] بعد ذلك تم اكتشاف سلسلة من التأثيرات البصرية اللاخطية منها التوليد التوافقي الثاني (second harmonic generation (SHG) [5] تشتت رامان المحفز stimulated Raman scattering [6] إقتران الطور البصري optical [7] phase conjugation) الإستقرارية الثنائية البصرية (optical bistability) [8] الإمتصاص المشبع saturable absorption (SA) [9] إمتصاص ثنائي الفوتون two-photon absorption (TPA) [10] وتأثير كير (Kerr effect) [11]. في الواقع يتم إستخدام التأثيرات اللاخطية في العديد من الجوانب العملية ، بما في ذلك تقنيات التصوير البيولوجي [12] الإتصال البصري ، [13] الأجهزة البصرية ، [14] والأجهزة الإلكترونية البصرية [15]. في نفس الوقت تعتبر القابلية اللاخطية للمواد من الدرجة الثالثة معلمة مهمة للغاية في التطبيقات اللاخطية وتتضمن القياسات اللاخطية قياس معامل الانكسار اللاخطي ومعامل الامتصاص اللاخطي والتي تتم باربعة طرق (تقنية z-scan ، four wave mixing ، spatial self-phase [16] interferometry) والتقنية المستخدمة في هذا البحث هي Z-scan.

## 3-1 المواد ذات الخواص البصرية اللاخطية ( Nonlinear optical

(materials

إن التطور في التقنيات البصرية خلال العقد الماضي كان يتمحور حول تكثيف الأنشطة البحثية لإكتشاف مواد جديدة تمتلك خواص بصرية لاخطية فالمواد ذات الخواص البصرية اللاخطية هي العنصر الأساسي لمستقبل التقنيات البصرية حيث يمكن أن تشكل مع غيرها من العناصر البصرية، الكهربائية والمغناطيسية أساس مهم في مجال الإتصالات الضوئية.

تعد المواد العضوية والبوليمرية من المواد الجديدة في المجال اللاخطي مقارنة بالمواد اللاعضوية فاللاخطية البصرية من المرتبة الثالثة للمواد اللاعضوية تمتلك قيمة كبيرة الا إن زمن الإستجابة لديها بطئ نسبيا [17].

في الآونة الاخيرة وجهت الأنشطة البحثية نحو تطوير المواد العضوية والمواد البوليمرية وهذه المواد تتفوق على غيرها من المواد بسبب مرونتها وبسبب إمكانية التكيف في خصائص المادة، إن مجال تطبيقات المواد ذات الخواص البصرية اللاخطية واسع جدا حيث تدخل ضمن الاتصالات، الطباعة الليزرية، معالجة الصور، والحواسيب البصرية، وجميع المنظومات البصرية وهذا يوضح بأن دراسة الخواص اللاخطية من أهم الابحاث حاليا [18].

إن تطوير مواد جديدة تمتلك خواص بصرية لاخطية يمكن أن يلقي الضوء على المفهوم النظري لأهم العمليات البصرية اللاخطية وهناك أنواع مختلفة من المواد اللاخطية والمستخدمة في تطبيقات مختلفة في صناعة البصريات الضوئية، من أهم هذه المواد هي المواد الصلبة، المركبات الفلزية العضوية، المركبات العضوية، البلورات السائلة وأشباه الموصلات.

### 1-3-1 المواد العضوية

إن المواد العضوية من أكثر المواد الواعدة في مجال التطبيقات البصرية اللاخطية وذلك بسبب تنوعها وقدرتها على التلائم مع التغيرات الخارجية والتي تحفز الوظائف البصرية بحيث تسلك السلوك المطلوب للتطبيقات من هذه المواد هي المركبات البورفينية (Porphyrins) ومركبات الفلرين (Fullrens) ومركبات الكربوسيانين (Carbocyanines) [18].

### 1-3-2 البلورات السائلة

تعتبر البلورات السائلة فئة مهمة من المواد البصرية اللاخطية وذلك لكونها ذات خصائص فيزيائية يمكن التحكم بها عن طريق تغيير إتجاه المجال المسلط عليها. إن اللاخطية في البلورات السائلة يمكن أن تنشأ من عدة اليات، وتم وصف الإستجابة اللاخطية في البلورات السائلة من قبل (Palffy –Muhoray) [19].

كما إن درجات الحرارة يمكن أن تؤثر على الخواص البصرية اللاخطية للبلورات السائلة مما يؤدي إلى العديد من التطبيقات المهمة في المجال الألكتروني.

### 1-3-3 اشباه الموصلات

إن أشباه الموصلات لها مجال واسع من اللاخطية حيث تظهر العديد من الآليات اللاخطية منها آلية إمتصاص فوتونين (Two Photon Absorption) وآلية إمتصاص الحوامل الحرة (free carriers absorption) وتأثير كير (Kerr effect) والإنكسار اللاخطي المرتبط مع الحوامل الحرة (nonlinear refraction associated with free carrier) وغيرها [20].

## 1-4 الدراسات السابقة

❖ في عام 1989 قام Victor Mizrahi وآخرون بدراسة تجريبية حول إمتصاص الفوتونين في أجهزة التحويل البصرية وقد أثبت العالمان أنه يمكن لامتصاص الفوتونين أن يضع قيّدًا أساسيًا على موجّهات الموجة (أجهزة التبدل البصري الكلي) . ولقد إستنتجوا معيارًا عامًا يجب أن تخضع له جميع المواد ، وقاموا بتقييم هذا المعيار تجريبيًا للألياف الزجاجية حيث أثبتوا أن امتصاص الفوتونين TPA القوي ، الذي قد يصاحب معامل إنكسار لاخطي  $n_2$  كبير ، يمكن أن يعيق بشدة المفتاح البصري في أي مادة [21].

❖ في عام 1995 قام Fryad Z. Henari وآخرون بايجاد الخواص البصرية اللاخطية من الرتبة الثالثة  $\chi^{(3)}$  للسليكون المسامي باستخدام تقنية المسح الضوئي Z-scan. لوحظ أن عملية إمتصاص الفوتونين TPA تعتمد على الشدة. حيث تم قياس الأجزاء الحقيقية والخيالية من  $\chi^{(3)}$  عند (665nm) حيث كانت قيمتها ( $7.5 \cdot 10^{-9}$  esu و  $-1.9 \cdot 10^{-9}$  esu) على التوالي. و إن تطبيق المفتاح البصري الكلي في السليكون المسامي يعتمد على الامتصاص اللاخطي [22].

❖ في عام 1997 قام الباحث Masaki Asobe بدراسة الخواص اللاخطية لمادة chalcogenide glass fiber وإمكانية إستخدامها كمفتاح بصري كلي. حيث قام بحساب معامل الانكسار اللاخطي من طيف التعريض spectrum brodining ومن طريقة kerr effect وقد وجد إن قيمته عند الطول الموجي  $1.3 \mu\text{m}$  ( $1.55 \cdot 10^{-14}$  و  $2 \cdot 10^{-14}$   $\text{cm}^2/\text{W}$ ) على التوالي وقد أستخدم في الاعداد التجريبي للمفتاح البصري نوعين من الليزر  $1.535 \mu\text{m}$  ليزر مسيطر و ليزر  $1.539 \mu\text{m}$  ليزر اشارة [23].

❖ في عام 2001 قام الباحث Fryad Zeki Henari بدراسة الخواص البصرية الخطية واللاخطية وقياسات المفتاح البصري للصبغة العضوية نوع (phthalocyanine) عند التركيز  $5 \cdot 10^{-4}$  M والمحضرة بشكل غشاء رقيق من خلال طيف الإمتصاص للصبغة وإيجاد الخواص اللاخطية باستخدام تقنية Z-scan عند الطول الموجي 514 nm. ومن ثم إيجاد قياسات المفتاح البصري باستخدام ليزر الأركون المستمر ذو الطول الموجي 514 nm الذي يمثل الليزرالمسيطر وإستخدام ليزر الهيليوم نيون ذو الطول الموجي 632 nm ليزرإشارة حيث وجد إن المادة تسلك سلوك الامتصاص العكسي المشبع عند الشدة القليلة والتي على أساسها تم استخدامها في تطبيق المفتاح بصري [24].

❖ في عام 2003 قام الباحث Hossin Abdeldayema وآخرون بدراسة حول مادة polydiacetylene حيث قام بإيجاد الخواص الخطية وحساب الخواص اللاخطية باستخدام تقنية Z-scan عند الطول الموجي 532 nm ومن ثم تمت قياسات المفتاح البصري بواسطة ليزر mode-locked Nd:YAG laser ذو الطول الموجي 532 nm ليزر مسيطر وتم استخدام ليزر He-Ne ذو الطول الموجي 633 nm ليزر إشارة حيث وجد من خلال تقنية Z-scan العملية تعتمد على ظاهرة الإمتصاص المشبع [25].

❖ في عام 2004 قام Shuizhu Wu وآخرون بدراسة تأثير المفتاح البصري على مركبات PVK-based optoelectronic حيث قاموا باستخدام ليزر 514 nm ليزر مسيطر وليزر 632.8 nm ليزر إشارة وحيث وضحت النتائج انه بزيادة قدرة الليزرالمسيطر يزداد معدل التضمين و تزداد استجابة التبديل [26].

❖ في عام 2005 قام Parag Sharma وآخرون بدراسة حول إمكانية إستخدام صبغة (Polymethine) كمفتاح بصري باستخدام طريقة (مسيطر - إشارة) حيث قاموا بإستخدام

ليزر 532 nm (مسيطر) وليزر 650 nm (إشارة) حيث تمت مقارنة النتائج النظرية مع العملية فوجدوا إن خصائص المفتاح البصري تظهر حساسية لتغير التركيز وعرض نبضة الليزرالمسيطر وشدته ومساحة المقطع العرضي للمستوي المتهيج لليزر 532 nm والعمر الزمني للمستوي المتهيج [27].

❖ في عام 2005 قام C.P. Singh وآخرون بدراسة تأثير المفتاح البصري على مادتي Zinc (II) tetraphenylporphyrin (ZnTPP) and Vanadium (IV)-oxide tetraphenylporphyrin (VOTPP) باستخدام طريقة (مسيطر - إشارة) حيث قاموا باستخدام ليزر 532 nm ليزر مسيطر وليزر 633 nm ليزر إشارة حيث يتم تضمين حزمة ليزر الاشارة داخل العينات بواسطة الليزر الضاخ [28].

❖ في عام 2008 قام Mathew Georgea وآخرون بدراسة الخواص اللاخطية لصبغة Neutral Red باستخدام ليزر نبضي ذو طول موجي 532 nm وتم دراسة الخواص اللاخطية للصبغة كمحلول محضرا بالميتانول والغشاء محضر مع بوليمر بولي فينيل الكحول بتقنية Z-scan حيث وجد من خلال حسابات الفتحة المفتوحة لتقنية Z-SCAN ان هناك تحول من الإمتصاص المشبع الى الإمتصاص المشبع العكسي بزيادة الشدة. ومن خلال حسابات الفتحة المغلقة للعينات ان معامل الإنكسار اللاخطي موجب والتي تكون قيمتها في الغشاء اكبر بثلاث مرات من المحلول وتم استخدام هذه الحسابات في تطبيق المحدد البصري حيث وجدوا أن هذه الصبغة تعطي تحديدا بصريا قويا عند الليزرات النبضية ذات حد عتبة أقل من  $C_{60}$  في التولوين [29].

❖ في عام 2012 قام الباحثان FZ Henari ,S Cassidy بدراسة الخواص اللاخطية لمحلول (Congo red) بتقنية Z-scan باستخدام ليزر أيون الأركون ذو الطول الموجي

514nm حيث وجدوا أن معامل الانكسار اللاخطي يتغير بتغير التركيز ووجدوا أن معامل الانكسار اللاخطي يسلك سلوك self-defocusing في العينات المدروسة واستخدمت تقنية ( مسيطر - إشارة) في الإعداد التجريبي للمفتاح البصري [30] .

❖ في عام 2014 قام كل من Valligatla Sreeramulu وآخرون بدراسة عن أشباه الموصلات غير المتجانسة كفاءة جديدة من المواد التي تدخل في مجال المفتاح البصري اللاخطي والتي تعتمد على تهيج البلازمون في عملها .تم فحص الخصائص البصرية اللاخطية لنقطة الكم CdSe والبنى غير المتجانسة النانوية لل Au-CdSe باستخدام تقنية Z-scan عند 532 nm، و 800 nm حيث لاحظوا تحول سلوك الامتصاص من الإمتصاص المشبع (SA) الى سلوك الامتصاص المشبع العكسي (RSA) بزيادة شدة الليزر وإن معامل الانكسار اللاخطي يتغير من الموجب الى السالب عند الشدات العالية لشبه الموصل غير المتجانس (Au-CdSe) [31].

## 1-5 الهدف من البحث.

دراسة الخصائص البصرية الخطية واللاخطية لمحاليل صبغه

(Acid Rad 27) العضوية وبتراكيز مختلفة.

# الفصل الثاني

## الجزء النظري

## المقدمة 1-2

في هذا الفصل سوف يتم التطرق الى الأنظمة البصرية الخطية واللاخطية وأهم الآليات المستخدمة في إيجاد الخواص اللاخطية ومنها آلية Z-scan وآلية Spatial Self-Phase Modulation) كما يوضح المفتاح البصري وأهم آليات عمله اللاخطية.

## 2-2 الأنظمة البصرية

### 1-2-2 النظام البصري الخطي

عند سقوط الضوء على وسط شفاف ، هنالك عمليات بصرية أساسية تحدث منها الانعكاس والانعكاس والإمتصاص والنفذية. حيث يجب أن تساوي الشدة  $I_0$  للحزمة الساقطة على سطح الوسط مجموع الشدة النافذة (T) و الممتصة (A) و المنعكسة (R) ، والمشار إليها بـ  $I_T$  و  $I_A$  و  $I_R$  على التوالي [32]:

$$I_0 = I_T + I_A + I_R \quad (2 - 1)$$

$$T_0 + A + R = 1 \quad (2 - 2)$$

حيث تشير  $T_0$  إلى النفذية ،  $A$  إلى الامتصاصية ،  $R$  إلى الانعكاسية.

وإن الكمية التي تربط بين كثافة الجسيمات في العينة وسمك العينة بالنسبة للسوائل هي الامتصاصية ، إن امتصاص جزيئات الوسط للضوء الساقط يؤدي الى إنتقال الجزيئات من مستويات أدنى الى مستويات أعلى وإن احتمالية الإنتقال تعتمد على عدد الجزيئات في المستوي الأرضي وعلى عدد الفوتونات الساقطة [33].

وتزداد الامتصاصية بزيادة تركيز جسيمات المادة وطول المسار البصري داخل الخلية بحسب قانون بيرلامبرت وهو عبارة عن قانون يربط الامتصاصية بخواص المادة (مقدار الأشعة

الامتصة تتناسب طرديا مع عدد جسيمات المادة الممتصة للضوء الساقط عليها [34].

$$\text{Log } I_0 / I = \varepsilon C_m L = A \quad (2 - 3)$$

حيث ان :-

$A =$  الإمتصاصية

$\varepsilon =$  معامل الاخماد المولاري.

$C_m =$  التركيز المولاري .

$L =$  سمك العينة .

كما يمكن حساب المعلمات الخطية للمادة مثل معامل الإمتصاص ومعامل الإنكسار من خلال

العلاقات التالية:-

$$\alpha = 2.303 A/L \quad (2-4)$$

$$n_0 = c / v \quad (2-5)$$

حيث ان:-

$\alpha_0 =$  معامل الإمتصاص الخطي .

$n_0 =$  معامل الإنكسار الخطي.

$c =$  سرعة الضوء في الفراغ.

$v =$  سرعة الضوء في الوسط.

ويمكن حساب النفاذية (شدة الضوء النافذ الى شدة الضوء الساقط) من العلاقة الآتية [34] :-

$$T_0=(I/I_0) \quad (2 - 6)$$

وترتبط الإمتصاصية بالنفاذية بالعلاقة الآتية [47]:-

$$A=\text{Log} (1 / T) =\text{Log}(I_0/I) \quad (2 - 7)$$

## 2-2-2 الأنظمة البصرية اللاخطية

الظواهر البصرية اللاخطية تحدث عندما تعتمد إستجابة نظام مادي لمجال بصري مسلط بطريقة غير خطية على قوة المجال الكهربائي. على سبيل المثال يحدث التوليد التوافقي الثاني نتيجة لجزء من الإستجابة الذرية التي تتدرج بشكل تربيعي مع قوة المجال الكهربائي المسلط. وبالتالي فإن شدة الضوء المتولد عند التردد التوافقي الثاني تميل إلى الزيادة مع تربيع شدة ضوء الليزر المسلط [35] وبمعنى أوضح مدخلات النظام اللاخطي لا تساوي مخرجاته على العكس من النظام الخطي الذي مدخلاته تساوي مخرجاته. ولوصف السلوك اللاخطي للمادة سوف نقارنها بالسلوك الخطي من حيث الإستقطاب للموجة حيث يكون الإستقطاب الخطي معتمد على المجال الكهربائي  $E(t)$  وحسب العلاقة الآتية [35]:-

$$p(t) = \epsilon_0 \chi^{(1)} E(t) \quad (2-8)$$

حيث ان :-

$\chi^{(1)}$  = تمثل القابلية الكهربائية الخطية للمادة (linear susceptibility)

$\epsilon_0$  = سماحية الفراغ (permittivity of free space)

حيث تصف المعادلة (2-8) السلوك الخطي للمادة .وعند وجود خواص لا خطية للمادة فان معادلة الاستقطاب تعطى بالمعادلة التالية [35] :-

$$P(t) = \varepsilon_0 \chi^{(1)} E(t) + \chi^{(2)} E^2(t) + \chi^{(3)} E^3(t) + \dots$$

$$(2-9) \quad \equiv P^{(1)}(t) + \sim P^{(2)}(t) + \sim P^{(3)}(t) + \dots$$

تُعرف الكميات  $\chi^{(2)}$  و  $\chi^{(3)}$  بالقابلية الكهربائية البصرية غير الخطية من الرتبتين الثانية والثالثة على التوالي ان الاستقطاب P هو ناتج لعزم ثنائي القطب p والذي يسببه المجال الكهربائي المسلط E وكثافة عدد ثنائي القطب. تكون العلاقة بين P و E خطية عندما تكون E صغيرة وتصبح غير خطية عندما تكون قيمة E اكبر من  $10^5$  V/m كما في الشكل (1-2) [35].

حيث ان :-

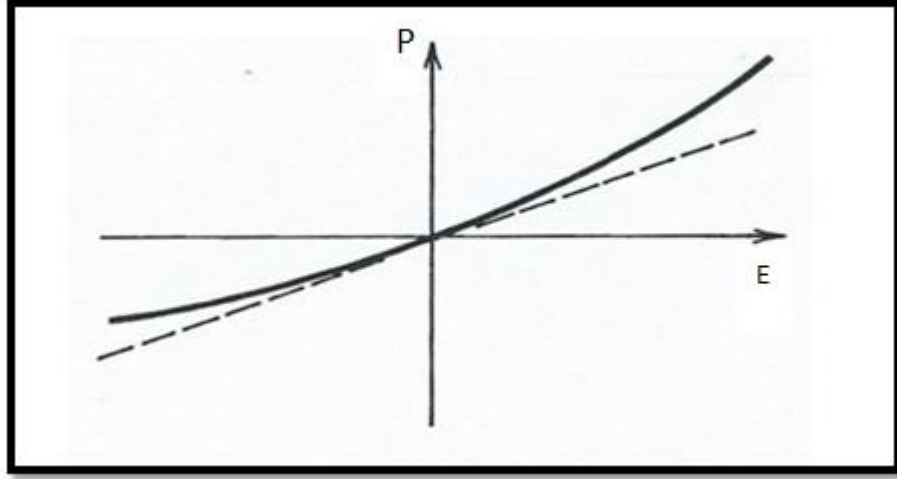
$$P^{(2)}(t) = \varepsilon_0 \chi^{(2)} E^2(t) \quad (2-10)$$

تشير (2-10) الى اللاخطية من الدرجة الثانية.

$$P^{(3)}(t) = \varepsilon_0 \chi^{(3)} E^3(t) \quad (2-11)$$

تشير (2-11) الى اللاخطية من الدرجة الثالثة.

وإن هناك عمليات فيزيائية تحدث نتيجة الى وجود اللاخطية من الدرجة الثانية تختلف عن العمليات التي تحدث عند الدرجة الثالثة [36]. وهذا البحث يتناول العمليات الفيزيائية التي تحدث نتيجة وجود اللاخطية من الدرجة الثالثة. يمكن أن تحدث التفاعلات البصرية غير الخطية من الدرجة الثالثة  $\chi^{(3)}$  لكل من الاوساط ذات التماثل المركزي وغير المتماثلة.



الشكل ( 1-2 ) : العلاقة بين شدة المجال الكهربائي والاستقطاب E,P [37].

## 3-2 الظواهر اللاخطية

تصنف الظواهر اللاخطية وفقا للرتب كما يلي [38] :-

- تأثيرات الرتبة الثانية

-(SHG) (Second harmonic generation).

• Optical rectification.

• تأثيرات الرتبة الثالثة

- (THG) Third harmonic generation

- (FWM) Four wave difference frequency mixing

- Self-focusing

- Self-defocusing

تتضمن الخواص اللاخطية كلا من الإنكسار اللاخطي و الإمتصاص اللاخطي.

## 2-3-1 الإمتصاص اللاخطي Nonlinear Absorption

هو الإمتصاص الذي يحدث في الاوساط اللاخطية نتيجة تسليط شدة ضوء عالية على المادة. حيث يتغير المقطع العرضي للإمتصاص ونوع الإمتصاص إعتامادا على شدة الضوء الساقطة. وللامتصاص اللاخطي عدة آليات هي:-

## 2-3-1-1 الإمتصاص المتعدد الفوتون Multi-photon absorption

آلية إمتصاص الفوتون المتعدد (MPA) هي طريقة بصرية عندما يتم إمتصاص فوتونين أو أكثر في وقت واحد أي يمتص الالكترون أكثر من فوتون للإنتقال بين المستويات حيث يكون فرق الطاقة بين المستويين مساوي لمجموع الفوتونات الممتصة

## 2-3-1-2 الامتصاص العكسي المشبع Reverse Saturable Absorption (RAS)

يحدث الإمتصاص العكسي المشبع (RSA) عندما تكون مساحة المقطع العرضي للمستوي المتهيج  $\sigma_{ex}$  أكبر من مساحة المقطع العرضي للمستوي الارضي  $\sigma_g$ .

## 2-3-1-3 امتصاص الناقل الحر Free carrier absorption

تحدث هذه العملية عادة في المواد شبه الموصلة حيث تمتص المادة الفوتون عندها ينتقل الالكترون او الفجوة من مستوي متهيج الى مستوي طاقة متهيج اخر حيث تتغير شدة الضوء خلال المادة بسبب حدوث هذه العملية.

## 2-3-2 Nonlinear refraction الإنكسار اللاخطي

عندما يتغير معامل الانكسار الوسط ( $n$ ) اعتماداً على الشدة الساقطة يسمى الانكسار (إنكسار غير خطي). وعند اعتماد معامل الانكسار على الشدة الساقطة فإن هناك العديد من العمليات الفيزيائية التي تسبب الانكسار اللاخطي منها

(electrostriction) أي يحصل إجهاد ضوئي على المنطقة المعرضة للضوء. آلية أخرى للانكسار اللاخطي هي إعادة ترتيب النقاط المستقطبة متباينة الخواص في السوائل والغازات عند مرور حزمة الضوء المستقطبة التي تشير إلى الانكسار ، أي تغيير معامل الانكسار ( $n$ ) [38]. يعرف هذا التأثير باعتباره تأثير كبير . قد تكون التغيرات في الكثافة ومن ثم في معامل الانكسار ( $n$ ) ناتجة عن الحرارة . أحد المظاهر المهمة للانكسار اللاخطي هو التنبير الذاتي والتنبير غير الذاتي لأشعة الليزر الساقطة والمسببة لعدم التجانس في معامل الانكسار.

## 2- 4 آليات قياس الخواص اللاخطية

هناك عدة آليات لقياس الخواص اللاخطية.

Z-scan -1

Four wave mixing (FWM) - 2

في هذا البحث سوف يتم التطرق إلى الآلية Z-scan.

## 2-5- آليّة Z-scan

إستنادًا إلى مبادئ تشوهات الحزمة المكانية ، فإن Sheik-Bahae اقترح تقنية تجريبية أحادية الشعاع تُعرف باسم Z-scan في عام 1989 [39]. يأتي اسم Z-scan من حقيقة أنه في هذه التقنية ، يتم مسح العينة على طول اتجاه انتشار شعاع الليزر الساقط ، والذي يُؤخذ تقليديًا كمحور Z يتم تركيز شعاع الليزر الغاوسي الساقط بواسطة عدسة ويتم مسح العينة على طول وسط الحزمة بشكل آلي. يتم قياس النفاذية للوسط غير الخطي من خلال فتحة موضوعة على مسافة بعيدا وتكون النفاذية دالة لموضع العينة (Z). عندما تتحرك العينة على طول المحور Z أثناء تسليط حزمة الليزر الكاوسيه فإن الشدة النافذة من خلالها تتغير بتغير موقعها على Z-scan، تعتمد هذه التقنية أساسًا على تحويل تشوه الطور إلى تشوه الإتساع أثناء انتشار الحزمة ويتم حساب الخواص اللاخطية بطريقة Z-SCAN (معامل الانكسار اللاخطي ومعامل الامتصاص اللاخطي) من خلال إستخدام كواشف ضوئية باليتين الأولى تسمى الفتحة المفتوحة والتي يتم من خلالها حساب معامل الامتصاص اللاخطي والثانية هي الفتحة المغلقة والتي يتم من خلالها حساب معامل الانكسار اللاخطي ،والفرق بين الطريقتين هي وضع فتحة صغيرة جدا قبل الكاشف في طريقة الفتحة المغلقة لتمرير جزء معين من الحزمة [39].

تؤدي اللاخطية من الدرجة الثالثة إلى ظهور العديد من الظواهر مثل جمع الموجات الرابع التي تحظى باهتمام تقني كبير. على سبيل المثال ، فهي المسؤولة عن الانكسار المعتمد على الشدة وظواهر الامتصاص المعتمدة على الشدة والتي تلعب أدوارًا رئيسية في تطوير الأجهزة الضوئية لمعالجة الإشارات الضوئية الكليه. لذلك ، فإن قياس اللاخطية من الدرجة الثالثة له أهمية كبيرة في القياسات البصرية [39]. هناك العديد من الطرق التي يتم من خلالها حساب معامل

الامتصاص اللاخطي ومعامل الانكسار اللاخطي احدى هذه الطرق هي تقنية Z-scan حيث انها طريقة لقياس كل من معامل الامتصاص اللاخطي NLA ومعامل الانكسار اللاخطي NLR بسرعة في المواد الصلبة والسوائل والمحاليل السائلة [40].

اكتسبت طريقة Z-scan قبولاً سريعاً من قبل مجتمع البصريات اللاخطية كأسلوب قياسي لتحديد التغييرات غير الخطية في معامل الانكسار والتغيرات في الامتصاص بشكل منفصل. هذا القبول يرجع في المقام الأول إلى بساطة التقنية وكذلك بساطة التفسير. في معظم التجارب ، يمكن تحديد تغير معامل الانكسار  $\Delta n$  ، وتغير الامتصاص  $\Delta\alpha$ ، مباشرة من البيانات.

ويمكن حساب ازاحة الطور اللاخطي  $\Delta\Phi_0$  من خلال العلاقة [16]:-

$$\Delta\Phi_0 = \frac{\Delta T_{p-v}}{0.406(1-s)^{0.25}} \quad (2-16)$$

حيث ان :-

$\Delta T_{p-v}$  :- التغير في النفاذية المعاييرة بين القمة والقعر والتي تعطى بالعلاقة :-

$$\Delta T_{p-v} = |T_p - T_v|$$

ويتم حساب معامل الانكسار اللاخطي ( $n_2$ ) من خلال العلاقة التالية [40]:-

$$n_2 = \Delta\Phi_0 / (I_0 L_{eff} k) \quad (2 - 17)$$

$$I_0 = \frac{2P_{peak}}{\pi(\omega_0)^2} \quad (2 - 18)$$

حيث ان:-

$$= I_0 \text{ الشدة الساقطة على العينة.}$$

$$= \omega_0 \text{ تخصر حزمة الليزر عند البؤرة.}$$

$$= P \text{ القدرة.}$$

ويمثل k العدد الموجي ويعطى بالعلاقة الاتية [65]:-

$$k = 2\pi / \lambda$$

حيث ان:-

$\Lambda$ :- الطول الموجي للحزمه

ويمثل  $L_{eff}$  الطول الفعال للعينة والذي يمكن حسابه من خلال العلاقة [65] :-

$$L_{eff} = \frac{1 - e^{-\alpha_0 t}}{\alpha_0} \quad (2-19)$$

حيث ان :-

سمك العينة.:- t

$\alpha_0$ :- معامل الامتصاص الخطي والذي يعطى بالعلاقة (٢-٤)

ويمكن حساب معامل الامتصاص اللاخطي من خلال منحنى النفاذية [٦٦]:-

$$B = \frac{2\sqrt{2}}{l_0} \Delta T \quad (2-20)$$

حيث ان  $\Delta T$ :- التغير بالنفاذية عند  $Z=0$  للفتحة المفتوحة.

ومن محاسن اليه Z-scan :-

2- لا توجد صعوبة نسبيا في الترتيب.

3- يمكن استخدامه لتحديد قيمة ونوع معامل الانكسار والامتصاص اللاخطي.

4- يمكن أيضًا استخدام Z-scan لدراسة اللاخطية للترتب العليا.

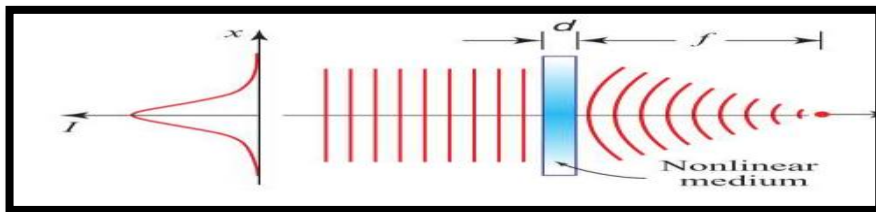
ومن مساوئ اليه Z-scan :-

1 - تتطلب شعاع كاوسي عالي الجودة للقياسات الدقيقة.

3- يمكن أن يتسبب تشوه العينة ، وإمالة العينة أثناء المسح ، في خروج الحزمة عن فتحة المجال البعيد اي يجب ان تكون العينة ثابتة.

## 2-5-1 Self-focusing التنبؤ الذاتي

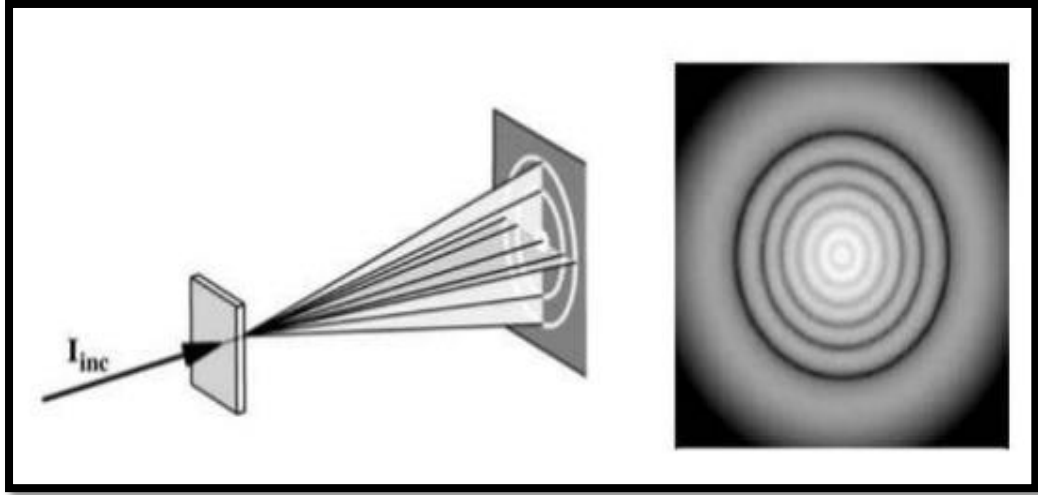
التنبؤ الذاتي للضوء هي العملية التي يعمل فيها شعاع ضوئي مكثف. بتعديل الخصائص البصرية للمادة خلال مروره خلالها. بهذه الطريقة يجب أن يكون تركيز الحزمة داخل المادة [41]. يمكن الحصول على تأثير كبير عندما يمر شعاع ضوئي خلال شريحة رقيقة من مادة لا خطية كما هو مبين في الشكل (2-7) [42] يتغير معامل الانكسار بتغير نمط الشدة في المستوى المستعرض. إذا كانت شدة شعاع الليزر أعلى كثافة في المركز فسيؤدي ذلك إلى أقصى تغيير في مركز معامل الانكسار [42].



شكل (2-7) : وسط غير خطي من الدرجة الثالثة يعمل كعدسة تعتمد قوة تركيزها على شدة الشعاع الساقط

## 2-5-2- التفريق الذاتي Self-defocusing

يمكن أن يحدث التفريق الذاتي لشعاع الليزر في حالة ما إذا زاد التغيير في معامل الانكسار مع زيادة شدة ضوء الليزر المسلط لأن تشوه جبهة الموجة عكس ذلك في التبعثر الذاتي [43]. ينتج تغير معامل الانكسار في شريحة رقيقة من المادة عن طريق شعاع ليزر مركّز بإحكام على عدسة ، ثم ينحرف الشكل الجانبي لمعامل الانكسار بتأثير شعاع الليزر كما هو مبين في الشكل (2-8) .



شكل (2-8) : التفريق الذاتي لشعاع الليزر في شريحة رقيقة من المادة ينتج عنه نمط الحيود خلف العينة [44].

## 2-6 خواص حزمة الليزر

### 1- الحزم الكاوسية.

النمط الكاوسي هو أدنى قيمة للنمط المستعرض أي لديه أدنى عتبة ، وأصغر انفراسيه واصغر تخصر للحزمه.

## ٢- انفراجيه وتخصر الحزمه.

ينتشر كل الضوء او يتباعد أثناء انتقاله بعيداً عن مصدره. الليزر هو مصدر الضوء الأكثر اتحاهيه لكن حزمته قد تتباعد إذا انتشر على مسافه طويله.

## ٢-٧- التأثير الحرري

تشير التأثيرات الحرارية الضوئية إلى معامل الانكسار المعتمد على درجة الحرارة للمادة ، والذي تم استخدامه على نطاق واسع في دوائر السيليكون الضوئية يمكن وصف التغير في معامل الانكسار بالعلاقة الآتية [44] :-

$$\Delta n = dn/dT * \Delta T \quad (2-28)$$

حيث ان  $T$  و  $dn/dT$  هي درجة الحرارة والمعامل الحراري البصري للمواد ، على التوالي. سيؤدي التغيير في معامل الانكسار إلى تحول الطور للضوء المنتشر ، والذي تم استخدامه على نطاق واسع للتضمين البصري.

## 2-8 تأثير كير Kerr effect

تأثير كير البصري هو ظاهرة غير خطية من الدرجة الثالثة تشير إلى تغير معامل الانكسار الناجم عن الضوء لوسط لا خطي والذي يتناسب مع شدة الضوء الساقط..

تأثير كير البصري مسؤول عن الكثير من الظواهر اللاخطية ، بما في ذلك التبئير الذاتي (self-focusing) وتضمين الطور الذاتي (self-phase modulation) والتضمين مقطع الطور (cross-phase modulation)

حيث سيؤدي تغيير معامل الانكسار إلى إحداث تحول في الطور مما يؤدي إلى أنواع مختلفة من التضمين.

## 9-2 الامتصاص المشبع Saturable absorption

الإمتصاص المشبع هو تأثير غير خطي من الدرجة الثالثة حيث إن إمتصاص مادة ما يعتمد على شدة الضوء الساقط. يمكن وصف معامل الامتصاص الكلي  $\alpha(I)$  بأنه.

$$\alpha(I) = \alpha_0 / (1 + I/I_s) + \alpha_{NS} \quad (2-29)$$

حيث  $\alpha_0$  هو معامل الامتصاص الخطي ، و  $I$  شدة التشبع ، و  $\alpha_{NS}$  هي الخسائر غير القابلة للتشبع ، وهي خسارة خطية ثابتة.

كما يمكن أن يستنتج من المعادلة (2-29) ، إن الامتصاص المشبع يتناقص مع زيادة شدة الضوء الساقط ، مما يؤدي إلى نفاذ أعلى عند الضوء الساقط القوي ، والذي يمكن استخدامه للتضمين البصري بشكل فعال.

# الفصل الثالث

## الجزء العملي

### 3-1- المقدمة

يتضمن هذا الفصل وصفاً للمواد والأجهزة المستخدمة في هذا البحث ، بالإضافة إلى تحضير عينات من المحاليل السائلة والصلبة للصبغة ، والاعداد التجريبي لقياس كل من معامل الامتصاص اللاخطي ومعامل الانكسار اللاخطي عند الطول الموجي (532 nm) البصري، حيث تم إجراء هذه القياسات في درجة حرارة الغرفة ، وتضمنت وصفاً كاملاً للأجهزة المستخدمة في هذا البحث.

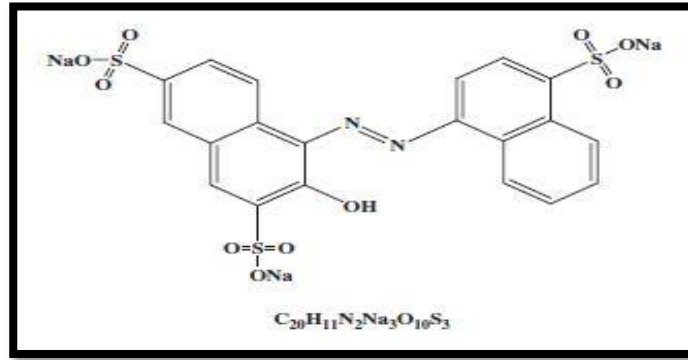
### 3-2 المواد المستخدمة

#### ١. صبغه Acid Rad 27

تم استخدام صبغة Acid Red 27 في هذا البحث والتي تم انتاجها من قبل شركة (Sigma Aldrich) والموضح خصائصها في الجدول (3-1) ويوضح الشكل (3-1) التركيب الجزيئي للصبغة:-

جدول (3-1) : خصائص صبغة Acid Red 27.

Molecular formula	$C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{10}S_3$
Molecular weight	604.47 g /mol
color	Dark reddish-brown to dark brown



شكل (3-1) : التركيب الجزيئي لصبغة Acid Red 27 [1].

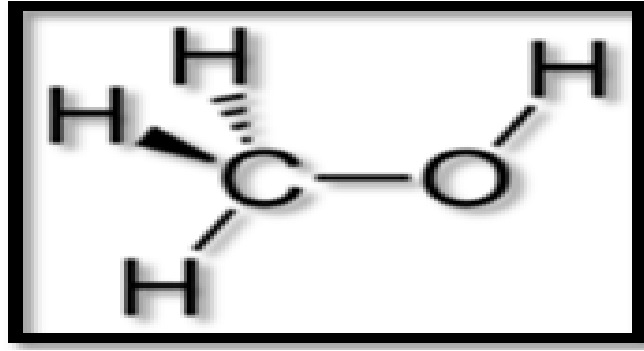
### 3-3 - المذيبات

#### 1- الميثانول Methanol

يعرف باسم كحول الميثيل ، وهو مادة كيميائية لها الصيغة  $CH_3OH$  (مجموعة ميثيل مرتبطة بمجموعة هيدروكسيل ، وخصائصها موضحة في الجدول (3-4) و يوضح الشكل (3-4) التركيب الكيميائي للميثانول.

جدول (3-4) : خصائص الميثانول.

Chemical formula	$CH_3OH$ or $CH_4O$
Molar mass	32.04 g/ mol
Color	Colorless liquid



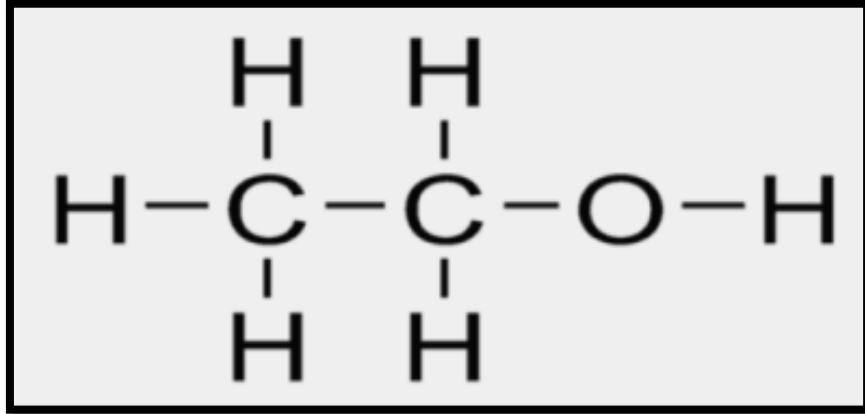
شكل (3-4) : التركيب الجزيئي للميثانول [95].

## 2- الإيثانول (Ethanol)

مركب كيميائي عضوي ينتمي الى فصيلة الكحوليات وهو مادة قابلة للاشتعال عديمة اللون ويتميز بانه مركب قطبي قادر على انشاء رابطة هيدروجينية بين جزيئات وكذلك يضم مجموعة الهيدروكسيل التي تعمل على ازدياد تماسك الروابط كما له القابلية على الامتزاج مع مذيبات اخرى مثل الماء ويشكل معه اربطة هيدروجينية. ويوضح الجدول (3-5) أهم خصائص الإيثانول ويوضح الشكل (3-6) التركيب الجزيئي للإيثانول. [45]

جدول (3-5): خصائص الإيثانول.

Chemical formula	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Molar mass	46.069 g/mol
Color	Colorless liquid



شكل (3-6) : تركيب الجزيئي للإيثانول.

### 4-3 تحضير العينات.

#### ١. تحضير محاليل الصبغات Acid Red27

تم تحضير الصبغات من خلال حساب الوزن المناسب إذابته في المذيب المناسب (الماء، الميثانول، الإيثانول) و تم حساب الوزن من خلال العلاقة (3-1):-

$$W = \frac{C \times V \times M_w}{1000} \quad (3-1)$$

حيث ان:-

$W(g)$  = وزن اللازم من الصبغة لاذابته.

$C(M)$  = التركيز المراد تحضيره.

$V(ml)$  = حجم المذيب.

$M_w(g/mol)$  = الوزن الجزيئي للصبغة.

وتم تحضير عدة تراكيز ويتم تخفيف التراكيز إعتقادا على العلاقة الآتية:-

$$C1 * V1 = C2 * V2 \quad (3-2)$$

حيث ان:-

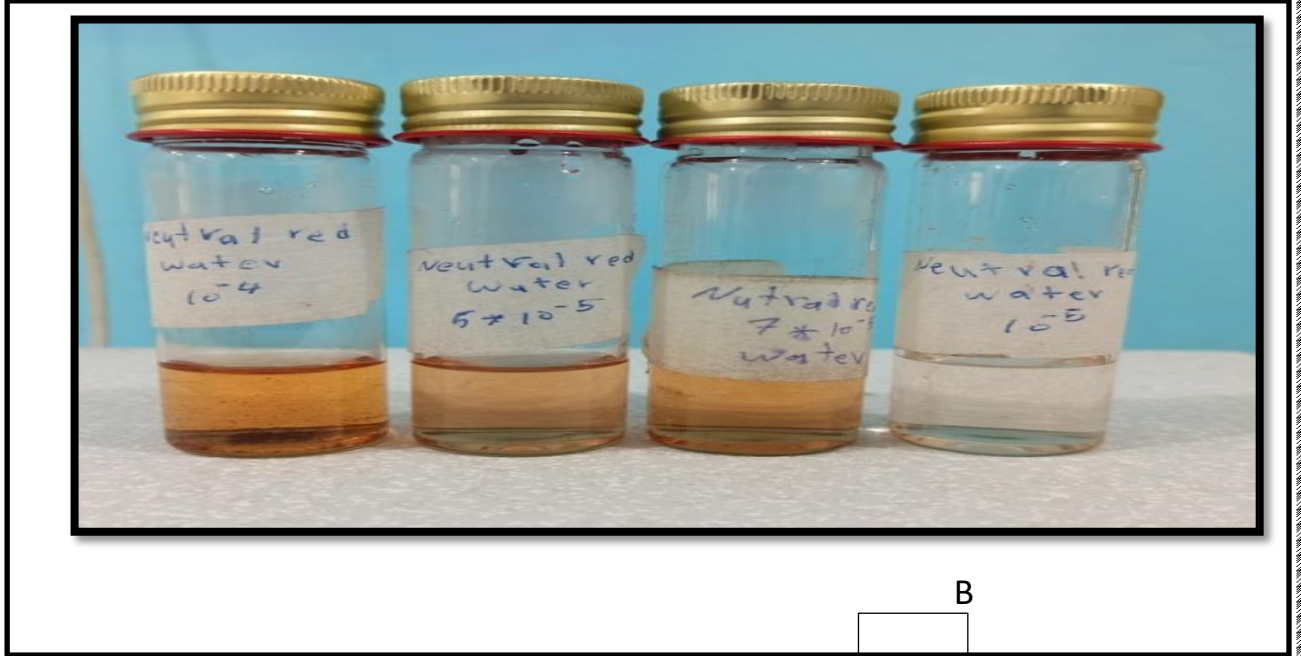
$C1$  = يمثل التركيز العالي (M) .

$V1$  = يمثل الحجم الابتدائي قبل التخفيف (ml).

$C2$  = يمثل التركيز المخفف (M).

$V2$  = يمثل الحجم بعد التخفيف (ml).

شكل (7-3) : محلول صبغة Acid Red 27 (A-الميثانول) بتراكيز مختلفة.

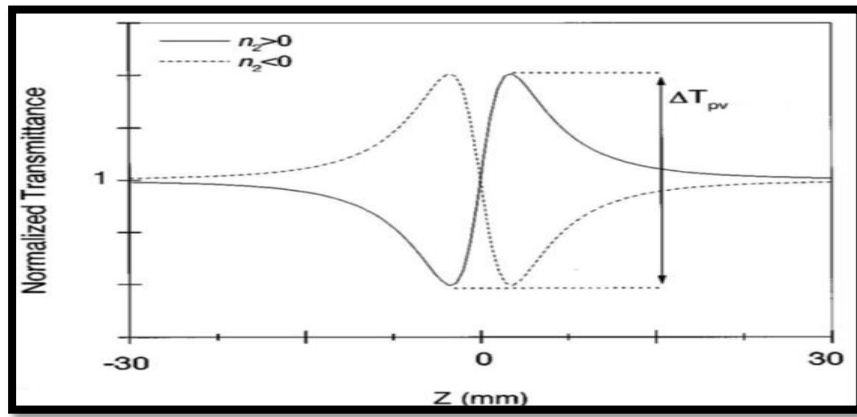


### 3-15 الإعداد التجريبي لمنظومة المسح على المحور الثالث Z-scan

تم استخدام منظومة المسح على المحور الثالث المثبتة في الشكل (3-16) والمجهزة من شركة (Mahfanavar) والتي تتألف من الأجزاء والعناصر البصرية التالية (مصدر ليزري ، العدسات ، مجزء حزمة ، منصة ميكانيكية ذات حركة دقيقة ، كواشف ، خلية كوارتز ذات سمك 1mm مع الحامل ، وحدة السيطرة ، وحاسبة مع البرمجيات الخاصة بالمنظومة والتي يمكن وصفها بشكل مختصر من خلال المخطط والصورة الفوتوغرافية في الاشكال (3-16) و(3-17) على التوالي.

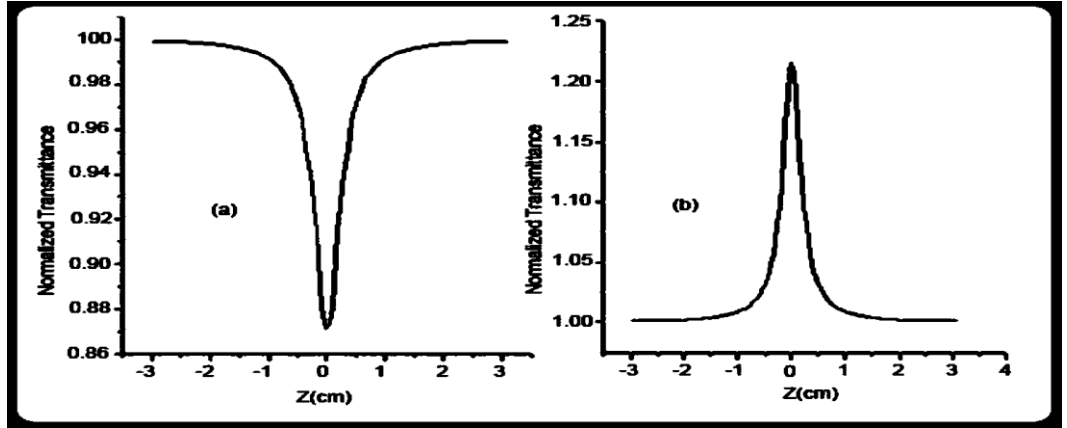
من خلال تقنية Z-scan يتم حساب الامتصاص اللاخطي (NLA) والانكسار اللاخطي (NLR) باستخدام الإعداد التجريبي فعند حساب معامل الانكسار اللاخطي يتم وضع فتحة أمام الكاشف لتمرير جزء محدد من الحزمة حيث يتم تركيز شعاع الليزر الكاوسي الساقط بواسطة العدسة على العينة ومن ثم يتم مسح العينة على طول تخصر الحزمة بصورة آلية حيث يتم قياس نفاذية الوسط غير الخطي من خلال الكاشف كدالة لموضع العينة (Z). عندما يتم قياس النفاذية للعينة على طول الحزمة الكاوسية المركزة ، فإن الشدة الساقطة على العينة تتغير بتغير موقع العينة على المحور. يكون الانكسار اللاخطي في العينة ناتج عن اللاخطية من الدرجة الثالثة حيث يكون اما تجميع أو تفريق اعتمادا على طبيعة المادة (تبيئذاتي / تفريق ذاتي). لذلك فإن الضوء الذي يمر عبر فتحة موضوعة في مجال بعيد سوف يختلف باختلاف موضع العينة. وبالتالي فإن نفاذية الفتحة هي دالة لموضع العينة Z. تعتمد هذه التقنية أساساً على تحويل تشوه الطور إلى تشوه الاتساع أثناء انتشار الحزمة [63].

عند وجود الفتحة ( الفتحة المغلقة) ويتم من خلالها معرفة إشارة معامل الانكسار اللاخطي حيث يتم الحصول على علامة الانكسار اللاخطي بسهولة من مسح Z-scan فعندما تكون هناك زيادة في النفاذية في منطقة ما قبل البؤرة يليها إنخفاض في منطقة ما بعد البؤرة عندها يكون الإنكسار اللاخطي ذو إشارة سالبة وعند حدوث العكس فان معامل انكسار يكون ذو إشارة موجبة وكما موضح في الشكل (3-14).

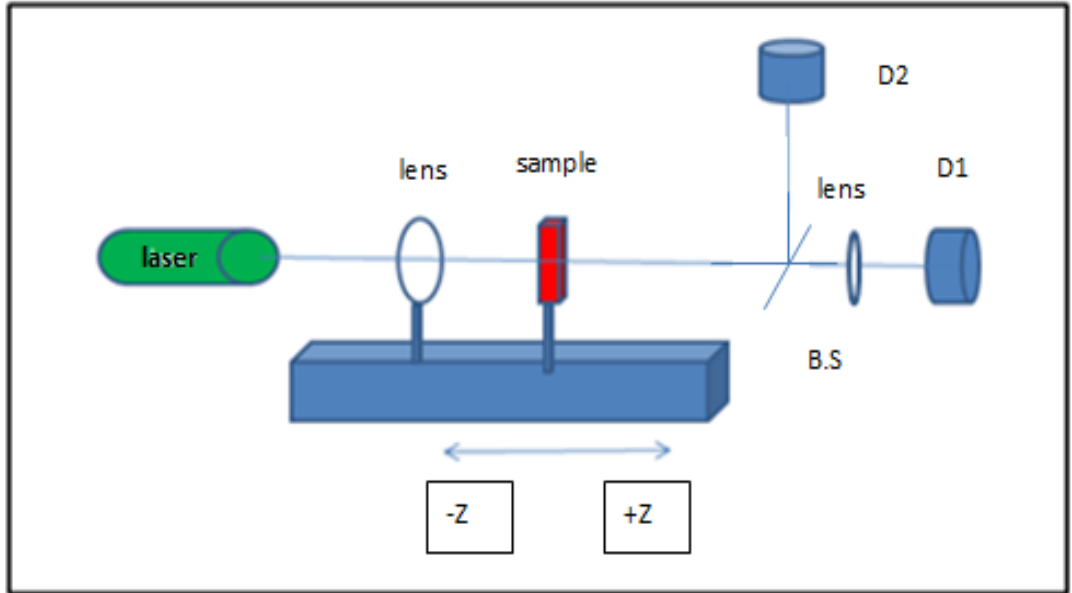


شكل (3-14) : العلاقة بين النفاذية الطبيعية والموقع [63]Z (mm).

وفي قياسات (الفتحة المفتوحة) أي جمع كل الضوء الموجود على الكاشف والذي يشار إليه بإسم المسح الضوئي Z-scan ذي الفتحة المفتوحة ، يخضع الإمتصاص اللاخطي الى آليتين إما إمتصاص العكسي المشبع الذي يقلل النفاذية الى أقل مايمكن عند البؤرة أي إنه هناك قعر عند  $Z=0$  عندها يكون معامل الامتصاص ذو إشارة موجبة ، او الإمتصاص المشبع التي تكون النفاذية أعلى مايمكن عند البؤرة أي يكون هناك قمة عند  $Z=0$  عندها يكون معامل الامتصاص ذو إشارة سالبة كما موضح في الشكل (3-15) ، بصرف النظر عن حجم اللاخطية (الأجزاء الحقيقية والخيالية) ، تعد إشارة كل من معامل الامتصاص اللاخطي والانكسار اللاخطي معلمة مهمة للإدراك العملي لأجهزة معالجة الإشارات الضوئية [46] .



شكل (3-15): تقنية المسح الضوئي Z-scan للفتحة المفتوحة a- موجب b- سالب. [46]



شكل (3-16): الإعداد التجريبي لمنظومة المسح على المحور الثالث Z-scan.

### 3-5-1 مصدر الليزر

مصدر الليزر المستخدم هنا هو عبارة عن ليزر الحالة الصلبة ( $\text{Nd-YVO}_4$ ) ذو الطول الموجي (1064nm) المضخوخ بليزر اشباه الموصلات (وتم الحصول منه على الطول

الموجي ( 532 nm ) باستخدام بلورة KTP وتكون شكل الحزمة الخارجه منه ذات شكل كاوسي TEM<sub>00</sub> ويمكن ان يجهز قدرة متغيرة وبشكل مستمر من (10-100 mW) .

### 3-5-2 العدسات

تم استخدام نوعين من العدسات اللامة الاولى لغرض تبئير حزمة اشعة الليزر على النموذج المراد فحصه وكان للعدسة الاولى لها بعد بؤري (f=8.5 cm) وقطر (5 cm) والثانية تستخدم لغرض تبئير حزمة الليزر الساقطة ذات البعد البؤري (5cm) وقطر (3cm) على الكاشف الثاني والمخصص لقياس معامل الإمتصاص اللاخطي.

### 3-5-3 الكاشف الضوئي

الكاشف المستخدم هو من نوع السيليكون له استجابة طيفية واسعة ضمن الاشعة فوق البنفسجية الى الاشعة تحت الحمراء القريبة وذات حساسيه عاليه تقدره اشعه الليزر الساقطه عليها.

# الفصل الرابع

## النتائج والمناقشة

## 1-4 المقدمة

في هذا الفصل تمت عرض ومناقشة النتائج الخاصة بمحاليل صبغة Acid Red 27 وصبغة Neutral Red على التوالي والتي تضمنت الخصائص البصرية الخطية وهي كل من معامل الإمتصاص الخطي ( $0\alpha$ ) ومعامل الانكسار الخطي ( $n_0$ ) والطول الموجي عند الإمتصاص الأقصى ( $\lambda_{max}$ ) وأيضا الخصائص البصرية اللاخطية والتي شملت كل من معامل الإمتصاص اللاخطي ( $\beta$ ) ومعامل الانكسار اللاخطي ( $n_2$ ) تحت تأثير عدة عوامل منها تركيز الصبغة وإستخدام مذيبات مختلفة .

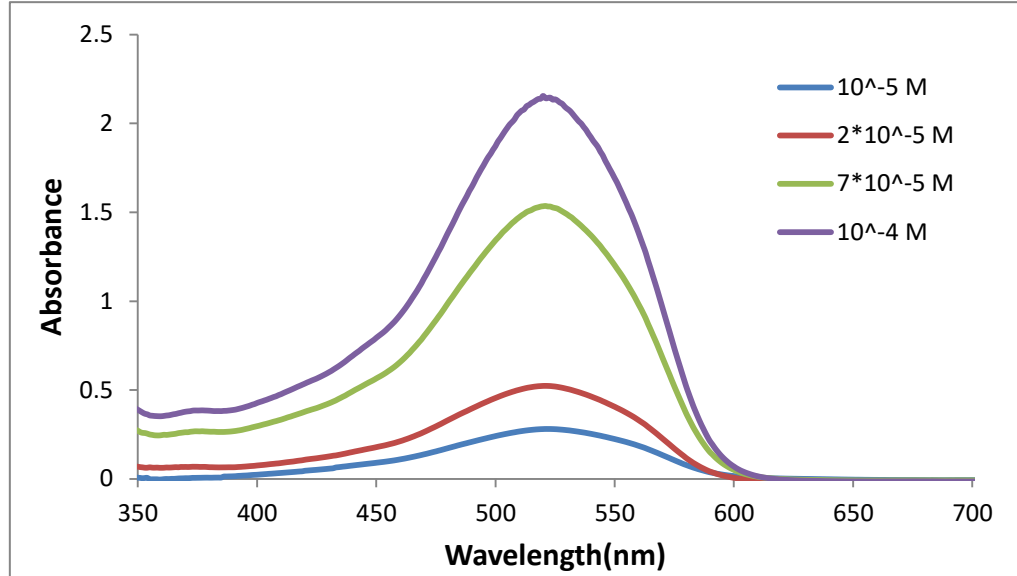
## 2-4 الخصائص البصرية الخطية

تمت دراسة الخواص البصرية الخطية لمحلول صبغة Acid Red 27 المحضرة بتراكيز مختلفة بإستخدام مذيب (الميثانول) وكذلك دراسة الخواص البصرية الخطية لصبغة Acid Red 27.

## II- طيف الامتصاص لصبغة Acid Red 27 المذابة في الميثانول

يوضح الشكل (1-4) طيف الإمتصاص لصبغة Acid red 27 بإستخدام الميثانول وبتركيز مختلفة ( $10^{-5}, 2*10^{-5}, 7*10^{-5}, 10^{-4}$  M) حيث نلاحظ إن الإمتصاصية تزداد بزيادة التركيز وهذا يتوافق مع قانون بيرلامبرت (2-3) وأيضا إن الطول الموجي للإمتصاصية الأقصى كان 521 nm وهو ثابت لكل التراكيز وكانت عرض حزمة الإمتصاص (100 nm) وهي أيضا ثابتة لكل التراكيز وكما تم إيجاد معامل الإمتصاص الخطي وكانت له قيمة عليا

هي  $4.9627\text{cm}^{-1}$  عند التركيز  $10^{-4}\text{ M}$  وأيضا وجد أن معامل الإمتصاص الخطي يزداد مع زيادة تركيز الصبغة وكما مبين في الجدول (4-1).



شكل (4-1) : طيف الإمتصاص لصبغة Acid Red 27 عند إستخدام الميثانول كمذيب.

جدول (4-1): خصائص طيف الإمتصاص لصبغة Acid Red 27 في الميثانول.

Concentration(M)	$\lambda_{\text{max}}(\text{nm})$	No(nm)	$\alpha_0(\text{cm}^{-1})$
$10^{-5}$	521	1.23	0.647037062
$2*10^{-5}$	521	١.٥٧	1.205440866
$7*10^{-5}$	521	٢.٢٥	3.536795402
$10^{-4}$	521	2.61	4.962739306

نلاحظ من الجدول (4-1) إن معامل الإمتصاص الخطي يزداد بزيادة التركيز وإن عرض حزمة الإمتصاص ثابت وأعلى طول موجي للإمتصاصية ثابت أيضا لجميع التراكيز.

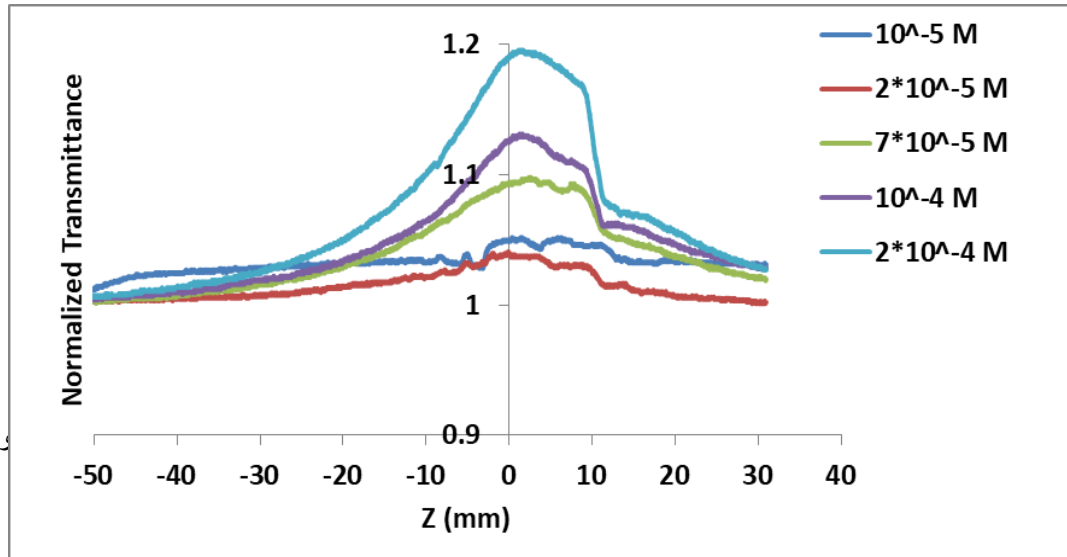
### 4-3 الخصائص اللاخطية

تمت دراسة الخصائص البصرية اللاخطية لمحلول صبغه Acid Rad 27 بتراكيز مختلفة بطريقة Z-scan وبليزر ذو طول موجي 532 nm وشدة مقدارها  $2.78 \text{ KW/cm}^2$  وتم إختيار هذه القدرة بعد عدة إختبارات حيث تعتبر حد العتبة لظهور الخواص اللاخطية للصبغة لذلك تم أخذ القياسات لجميع العينات بقدرة واحدة كذلك إنه يجب أخذ الحيطة عند إستخدام شدات عالية وخصوصا عند الصبغات التي لها معامل إنكسار لاخطي عالي حيث ستعاني حزمة الليزر توسع كبير وخروج الحزمة من الكاشف ناتجة عن تغير الطور لجبهة الموجة بحيث لايمكن تجميعها على الكاشف بسهولة [47] وكذلك فإن الشدات العالية تؤدي الى إنهيار حزمة الليزر داخل العينة (collapse) [48] ويظهر هذا السلوك في كل الحالات وكأنه إمتصاص عكسي مشبع ولكنه في الحقيقة خروج حزمة الليزر خارج الكاشف وبعد عدة إختبارات تبين ان الصبغات تمتلك معامل انكسار لاخطي عالي لذلك تم إختيار شدة قليلة والتي تمثل حد العتبة لظهور الخواص اللاخطية.

بإستخدام الإعداد التجريبي لمنظومة المسح على المحور البصري Z-scan الموضحة في الشكل (3-16) تم إيجاد كل من معامل الإمتصاص اللاخطي  $\beta$  عن طريق الفتحة المفتوحة (Open Aperture) ومعامل الإنكسار اللاخطي  $n_2$  عن طريق الفتحة المغلقة (Close Aperture) لصبغة Acid Red27 المذابة في الميثانول وبتراكيز مختلفة وكذلك مع وجود البوليمر بنسبة مزج (2.7%, 5.88%, 9.68%, 14.29%) في البدأ تم إختيار المذيب الميثانول

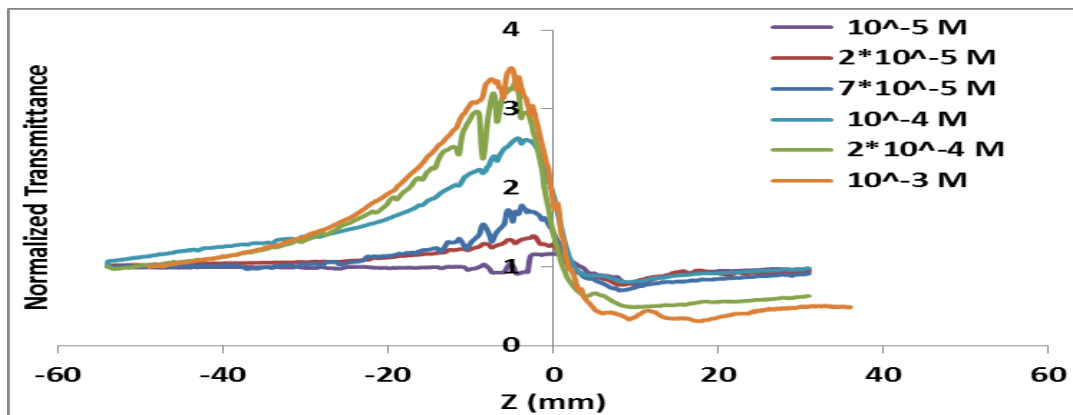
بدون وجود الصبغة الممزوجة مع البوليمر وكانت النفاذية ثابتة له بدون أي تغيير وهذا يدل على عدم وجود الحساسية للاختبار له ومن ثم إختبار البوليمر PVA وأيضا كانت النفاذية له ثابتة وهذا أيضا يدل على عدم إظهاره للحساسية للاختبار.

يوضح الشكل (11-4) منحنى البياني للمسح على المحور الثالث للفتحة المفتوحة ( $S=1$ ) للصبغة المذابة في الميثانول عند الطول الموجي 532 nm حيث نلاحظ من الشكل (11-4) إن منحنى النفاذية تبدأ بقيمته بالصعود التدريجي ويصل إلى قيمته العظمى عند النقطة ( $Z=0$ ) ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي كلما إبتعدنا عن هذه النقطة وهذا يبين إن الصبغة تظهر السلوك اللاخطي في المنطقة القريبة من النقطة  $Z=0$  وسلوك خطي في المنطقة البعيدة عنها أي إن المادة تعاني من سلوك (saturable absorption) ومعامل الإمتصاص اللاخطي سالب عند التراكيز العالية ( $2 \cdot 10^{-4}, 10^{-4}, 7 \cdot 10^{-5} M$ ) أما عند التراكيز القليلة فإنه لا يظهر أن هناك أي إمتصاص لاخطي لكون الصبغة المسؤولة على ظهور الخواص اللاخطية تركيزها قليل جدا أي إن عدد جزيئات الصبغة في المحلول قليلة جدا



اما لسلوك الصبغة مع البوليمر فإنها لاتظهر أي خواص لاختطية وذلك قد يعود ذلك بسبب التركيز حيث تكون قليلة كما موضح في الجدول (3-6) حيث نلاحظ ان التراكيز المقابلة للنسب الحجمية المستخدمة قليلة جدا لذلك لاتظهر أي خواص لاختطية إضافة إلى كونه ذو كثافة ولزوجة عالية تؤثر بصورة كبيرة على ظهور الخواص اللاختطية للصبغة وهي بالطور السائل .

الشكل (4-12) يبين المنحني البياني للمسح على المحور الثالث في حالة الفتحة المغلقة  $S = 0.25$  للصبغة مذابة في الميثانول حيث أظهرت النتائج إن للصبغة في الميثانول بدون البوليمر سلوك عدم التنبير الذاتي self-defocusing وإن معامل الانكسار اللاخطي يكون سالب  $-n_2$ ، كما نلاحظ إن معامل الإنكسار اللاخطي يظهر بشكل واضح عند التراكيز العالية ويبدأ بالنقصان عند التراكيز القليلة أما سلوك الصبغة في البوليمر يختلف فلاتظهر أي سلوك لاختطي وذلك لكون تركيز الصبغة قليل كما موضح في الجدول (3-6) حيث نلاحظ ان التراكيز المقابلة للنسب الحجمية قليلة جدا إضافة إلى إختلاف خصائص البوليمر من حيث اللزوجة والكثافة مما يؤثر على ظهور الصفات اللاخطية عند هذه الشدة والطول الموجي.



الشكل (4- 12) : تقنية Z-scan للفتحة المغلقة للصبغة المذابة في الميثانول باستخدام ليزر ذو طول موجي

532 nm وشدة مقدارها  $2.78 \text{ KW/cm}^2$ .

وتظهر النتائج أعلاه إن معامل الإنكسار اللاخطي هو ذو منشأ حراري والنتائج عن إمتصاص الصبغة لحزمة الأشعة المستمرة ذات الطول الموجي 532 nm وإنتشار هذه الحرارة في الوسط وبالتالي سلوكه كعدسة حرارية. كما إن تركيز الصبغة له الأثر الكبير على جميع المعلمات اللاخطية.

ثم تم حساب الخواص اللاخطية للصبغة مع الميثانول لكون لم تظهر خواص لاخطية للصبغة مع البوليمروالتي تتمثل بمعامل الإمتصاص اللاخطي  $\beta$  ومعامل الانكسار اللاخطي  $n_2$  والسلك المؤثر  $L_{\text{eff}}$  و  $\Delta n$  والمثبتة في الجدول (4-7).

جدول (4- 2) : الخصائص اللاخطية للصبغة Acid Red 27 المذابة بالميثانول للفتحة المفتوحة والمغلقة باستخدام ليزر ذو طول موجي 532 nm عند الشدة  $2.78 \text{ KW/cm}^2$

Concentration (M)	$L_{\text{eff}}$ (cm)	$\beta$ (cm /W)	$n_2$ (cm <sup>2</sup> /W)	$\Delta n$
$10^{-4}$	0.07882	-	-	-0.002693
	8	$4.25923 * 10^{-4}$	$9.68791 * 10^{-7}$	

$7 * 10^{-5}$	0.08422	-	-	-0.000947
	8	$1.88436 * 10^{-4}$	$3.40674 * 10^{-7}$	
$2 * 10^{-5}$	0.09420	-	$-2.7118 * 10^{-7}$	-0.000754
	7	$2.15995 * 10^{-5}$		
$10^{-5}$	0.09683	-	$-2.0155 * 10^{-7}$	-0.00056
	3	$1.05069 * 10^{-5}$		

#### 4-4 الإستنتاجات.

٩- من خلال الخواص اللاخطية لصبغة (Acid Red 27) لوحظ إن سلوك الإمتصاص هو إمتصاص مشبع وإن سلوك الانكسار هو عدم التبئير الذاتي وإن كلا من الامتصاص والانكسار يحمل العلامة السالبة.

## References

- [1] Balaji, G., et al. "Nonlinear Optical Properties and Optical Limiting Effect of Acid Red 27." *Journal of Advanced Physics* 6: 1-6,(2016).
- [2] Asobe, Masaki. "Nonlinear optical properties of chalcogenide glass fibers and their application to all-optical switching.", *Optical Fiber Technology* 3, no. 2, PP.142-148,1997,
- [3] Bredas, Jean-Luc, C. Adant, P. Tackx, Andre Persoons, and B. M. Pierce. "Third-order nonlinear optical response in organic materials: theoretical and experimental aspects." ,*Chemical reviews* 94, no. 1, PP.243-278, 1994.
- [4] Maiman, Theodore H. "Stimulated optical radiation in ruby." , PP. 493-494, 1960.
- [5] Franken, eg PA, Alan E. Hill, C. W. Peters, and Gabriel Weinreich. "Generation of optical harmonics." *Physical Review Letters* 7, no. 4, PP. 118, 1961.
- [6] He, Guang S., Wing-Cheung Law, Liwei Liu, Xihe Zhang, and Paras N. Prasad. "Stimulated Mie scattering in nanocrystals suspension." *Applied Physics Letters* 101, no. 1, 2012.
- [7] Goldblatt, Norman. "Stimulated brillouin scattering." *Applied optics* 8, no. 8,PP. 1559-1566, 1969.
- [8] Bonifacio, R., and L. A. Lugiato. "Optical bistability and cooperative effects in resonance fluorescence." *Physical Review A* 18, no. 3, 1978.
- [9] Szöke, A., and A. Javan. "Isotope shift and saturation behavior of the 1.15–  $\mu$  transition of Ne." *Physical Review Letters* 10, no. 12,PP. 521, 1963.
- [10] Drobizhev, Mikhail, Nikolay S. Makarov, Shane E. Tillo, Thomas E. Hughes, and Aleksander Rebane. "Two-photon absorption properties of fluorescent proteins." *Nature methods* 8, no. 5,PP. 393-399, 2011.
- [11] Wong, George KL, and Y. R. Shen. "Study of pretransitional behavior of laser-field-induced molecular alignment in isotropic nematic substances." *Physical Review A* 10, no. 4, 1974.

- [12] Zipfel, Warren R., Rebecca M. Williams, and Watt W. Webb. "Nonlinear magic: multiphoton microscopy in the biosciences." *Nature biotechnology* 21, no. 11, PP. 1369-1377, 2003.
- [13] Kiasaleh, Kamran. "Performance of coherent DPSK free-space optical communication systems in K-distributed turbulence." *IEEE transactions on communications* 54, no. 4, PP. 604-607, 2006.
- [14] Zakery, A., and S. R. Elliott. "Optical properties and applications of chalcogenide glasses: a review." *Journal of Non-Crystalline Solids* 330, no. 1-3, PP. 1-12, 2003.
- [15] Nguyen, Thien-Phap. "Polymer-based nanocomposites for organic optoelectronic devices. A review." *Surface and Coatings Technology* 206, no. 4, PP. 742-752, 2011.
- [16] Liao, Yunlong, Chunmei Song, Yuanjiang Xiang, and Xiaoyu Dai. "Recent Advances in Spatial Self-Phase Modulation with 2D Materials and its Applications." *Annalen der Physik* 532, no. 12, 2020.
- [17] Xiaomin Li, Tomoji KAWAi and Shicio KAWAi. "Observation of Resistive and Magnetic Anomalies at 90-180 K by Laser Molecular Beam Epitaxy" *Jpn.J.Appl.Phys*, No. 7B, PP. 934-1937, 1992.
- [18] P.Lan. "Organic and Organometallic compounds for Nonlinear Absorption of light" *organic chemistry*, 2007.
- [19] P.Muhoray "the nonlinear optical response of liquid crystals .in liquid Crystals: Application and uses", World scientific, 1991.
- [20] D.C.Hutchings, e.w.VanStryland, "Nondegenerate two-photon absorption in zinc blende semiconductors" *J Opt.Soc.Am.B* 9, 1992.
- [21] Mizrahi, Victor, K. W. DeLong, George I. Stegeman, Mansoor A. Saifi, and M. J. Andrejco. "Two-photon absorption as a limitation to all-optical switching." *Optics Letters* 14, no. 20, PP. 1140-1142, 1989.
- [22] Henari, Fryad Z., Kai Morgenstern, Werner J. Blau, Vladimir A. Karavanskii, and Vladimir S. Dneprovskii. "Third-order optical nonlinearity and all-optical switching in porous silicon." *Applied physics letters* 67, no. 3, PP. 323-325, 1995.

[23] Asobe, Masaki. "Nonlinear optical properties of chalcogenide glass fibers and their application to all-optical switching." *Optical Fiber Technology* 3.2 , PP.142-148, 1997

[24] Henari, Fryad Zeki. "Optical switching in organometallic phthalocyanine." *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics* 3, no. 3,P. 188, 2001.

[25] Abdeldayem, Hossin, Donald O. Frazier, and Mark S. Paley. "An all-optical picosecond switch in polydiacetylene." *Applied physics letters* 82, no. 7,PP. 1120-1122, 2003.

[26] Wu, Shuizhu, Ming Lu, Weilong She, Kun Yan, and Zhanzhao Huang. "All-optical switching effect in PVK-based optoelectronic composites." *Materials chemistry and physics* 83, no. 1 ,PP. 29-33, 2004.

[27] Sharma, Parag, Sukhdev Roy, and C. P. Singh. "Dynamics of all-optical switching in polymethine dye molecules." *Thin Solid Films* 477.PP. 1-2 , 42-47, 2005.

[28] Singh, C. P., K. S. Bindra, B. Jain, and S. M. Oak. "All-optical switching characteristics of metalloporphyrins." *Optics communications* 245, no, PP. 1-6: 407-414, 2005.

[29] George, Mathew, C. I. Muneera, C. P. Singh, K. S. Bindra, and S. M. Oak. "Z-scan studies and optical limiting of nanosecond laser pulses in neutral red dye." *Optics & Laser Technology* 40, no. 2,PP. 373-378, 2008.

[30] Henari, Fryad Z., and Seamus Cassidy. "Non-linear optical properties and all optical switching of Congo red in solution." *Optik* 123, no. 8 , PP.711-714, 2012

[31] Sreeramulu, Valligatla, Krishna Kanta Haldar, Amitava Patra, and D. Narayana Rao. "Nonlinear optical switching and enhanced nonlinear optical response of Au–CdSe heteronanostructures." *The Journal of Physical Chemistry C* 118, no. 51, PP. 30333-30341, 2014.

[32] Aboud L.H., Mahdi Z.F and Abed Al-Zahra W.J.," Linear and nonlinear optical properties of the dye laser (Acridine Dye)", *Academic research international*, Vol.5, No.4, PP. 135-141, 2014.

[33] Ban S. A. A. H. Al-Shammari "Study of the spectral properties for different conductive polymers doped with Fluoresien Sodium dye." Msc. thesis, Department of Laser Physics, College of Science for Women, University of Babylon , 2019.

[34] Verhaegen, Georges, and Jean Drowart. "Mass Spectrometric Determination of the Heat of Sublimation of Boron and of the Dissociation Energy of B<sub>2</sub>." *The Journal of Chemical Physics* 37, 6, PP.1367-1368,1962.

[35] A. Waser, "On the Notation of Maxwell's Field Equations", *J. Opt, B* 35,PP. 280- 200, 2000.

[36] Robert Boyd , *Nonlinear optic* , Third Edition, 2007.

[37]S. M. Mian, B. Taheri, and J. P. Wicksted, "Measurement of The Nonlinear Refractive Index by Z-scan Technique" *J. Opt. Soc. Am. B* 13, 1995.

[38] R.A. Ganeev, T. Usmanov, "Nonlinear-optical parameters of various media," *Quantum Electron.* 37,PP. 605–622 , 2007.

[39] Sheik-Bahae, Mansoor, Ali A. Said, and Eric W. Van Stryland. "High-sensitivity, single-beam n<sup>2</sup> measurements." *Optics letters* 14, no. 17,PP. 955-957, 1989.

[40] Sheik-Bahae, Mansoor, and E. Van Stryland. "Z-scan measurements of optical nonlinearities." *Characterization Techniques and Tabulations for Organic Non-linear Materials*, eds Kuzyk MG, Dirk CW, editors. New York, NY: Marcel Dekker ,PP. 655-692,1998.

[41] Gu, Bing, and Yiping Cui. "Effect of sample imperfections on far-field self-diffraction patterns of a Gaussian beam passing through Kerr media." *Optik* 124, no. 24,PP. 7070-7074, 2013.

[42] B. E. A. Saleh, M. C. Teich "Fundamentals of Photonics", *Nonlinear optics*, chap. 21 , 1991.

[43] Y. R. shen, "Principles of Nonlinear Optics", *Wiley Classics Library*, New Jersey , 2003.

[44] R. Menzel, "photonics", 2nd Edition, "Linear and Nonlinear Interactions of Laser Light and Matter", Springer, Potsdam ,2007.

[45] Sarah Hussein, Theses of M.sc. "Studying the linear and nonlinear properties of two dyes(BCP and BCB)as an optical limiter", in laser physics , 2021.

[46] Mohammed, Nazmi A., Mahmoud M. Ragab, and Moustafa H. Aly. "Self-phase modulation based wavelength conversion using different types of fibers." European Journal of Scientific Research 74, no. 2, PP. 176-185, 2012.

[47] Dimitrevski, Kristian, Erik Reimhult, Erik Svensson, Anders Öhgren, Dan Anderson, Anders Berntson, Mitek Lisak, and Manuel L. Quiroga-Teixeiro. "Analysis of stable self-trapping of laser beams in cubic-quintic nonlinear media." Physics Letters A 248, 5-6: 369-376,1998.