مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد السابع والعشرون - المجلد التاسع - علوم الفيزياء - نيسان 2026 م
doi.org/10.52866/esj.2026.09.27.01

تأثير عدد نبضات الليزر على الخصائص البصرية لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية المحضّرة بتقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السائل

سجى عبد حسن[1*] ، نجاة احمد دحام[2] ، عباس كسوب جارالله[3]
1. قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق.
2. قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق.
3. قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق.
*البحث مستل من رسالة ماجستير الباحث الاول
البريد الالكتروني: SAHueps79@st.tu.edu.iq

مستخلص:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير عدد نبضات الليزر على الخصائص البصرية لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3 NPs) المحضّرة باستخدام تقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السائل (PLAL) تم تحضير الجسيمات في الماء منزوع الأيونات مع تغيير عدد نبضات الليزر pulse(500، 700، 900، 1100) عند طاقة مقدارها mJ (900) أظهرت أطياف الامتصاص البصري (UV-Vis) زيادة في الامتصاصية مع ازدياد عدد النبضات، مما يدل على ازدياد تركيز الجسيمات النانوية في المحلول. كما بينت النتائج انخفاضًا في النفاذية وارتفاعًا في كل من معامل الامتصاص ومعامل الخمود مع زيادة عدد النبضات. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ تناقص تدريجي في فجوة الطاقة البصرية (E_g)، وهو ما يعزى إلى زيادة الحجم الحبيبي وتقليل تأثير الحصر الكمومي. تشير هذه النتائج إلى إمكانية التحكم في الخصائص البصرية لجسيمات Fe_2O_3 عبر ضبط عدد نبضات الليزر، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات بصرية وتحسسية وكهربائية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الخصائص البصرية، الاستئصال بالليزر النبضي (PLAL)، جسيمات أوكسيد الحديد النانوية، فجوة الطاقة البصرية.

Effect of laser pulse number on the optical properties of iron oxide nanoparticles prepared by pulsed laser ablation in liquid

Saja Abd Hassan [1]* , Najat Ahmed Dahham[2] , Abbas Kasoob Jarallah[3]
1. Department of Physics ،Collage of Education for Pure Science ،University of Tikrit ،Tikrit ،Iraq.
2. Department of Physics ،Collage of Education for Pure Science، University of Tikrit ،Tikrit ،Iraq.
3. Department of Physics ،Collage of Education for Pure Science، University of Tikrit ،Tikrit ،Iraq.
E-mail: [1] SAHueps79@st.tu.edu.iq

ABSTRACT :

This research aims to investigate the effect of laser pulse number on the optical properties of iron oxide nanoparticles (Fe_2O_3 NPs) prepared using pulsed laser ablation in liquid (PLAL). The particles were prepared in deionized water with varying laser pulse counts (500, 700, 900, and 1100) at an energy of 900 mJ. The UV-Vis absorption spectra showed an increase in absorbance with increasing pulse count, indicating a higher concentration of nanoparticles in the solution. The results also showed a decrease in transmittance and an increase in both the absorption coefficient and extinction coefficient with increasing pulse count. Furthermore, a gradual decrease in the optical band gap (Eg) was observed, which is attributed to the increasing particle size and a reduction in the quantum confinement effect. These results indicate that the optical properties of Fe_2O_3 particles can be controlled by adjusting the number of laser pulses, making them suitable for various optical, sensing, and electrical applications.

Key words: Optical properties, pulsed laser ablation (PLAL), iron oxide nanoparticles, optical energy gap.

1. المقدمة

تشهد تكنولوجيا النانو تطورًا متسارعًا لما تقدمه من إمكانيات واسعة لتطوير مواد جديدة ذات خصائص محسّنة مقارنة بنظيراتها الحجمية. إذ تمتلك المواد النانوية ميزات فريدة ناتجة عن تأثيرات الحجم الكمومي وارتفاع نسبة المساحة السطحية إلى الحجم، مما يجعل سلوكها الإلكتروني والكيميائي والفيزيائي يختلف بصورة ملحوظة عن المواد في حالتها الكبيرة [1]. يبلغ حجم الجسيمات النانوية عادةً أقل من 100 nm، حيث يعتبر النانومتر واحدًا من مليار جزء من المتر، مما يجعل هذه الجسيمات أصغر بكثير من خلايا الدم الحمراء وشعرة الإنسان [2].

تختلف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجسيمات النانوية المعدنية تبعًا لعدة عوامل أساسية تشمل الحجم والشكل والتركيب والبنية السطحية، ويُعد التحكم بهذه المتغيرات مهمًا للحصول على خصائص ملائمة للتطبيقات الوظيفية المرغوبة [3,4]. وقد ازداد الاهتمام مؤخرًا بالطرق التي تسمح بالتحكم الدقيق في شكل وحجم الجسيمات النانوية داخل المحلول، مما أدى إلى تطوير العديد من الطرق الفيزيائية والكيميائية للتحضير [5,6].

عند تشتت الجسيمات النانوية في وسط سائل، فإنها غالبًا ما تُظهر ظاهرة الرنين البلازموني السطحي، والتي تنشأ نتيجة تذبذب إلكترونات السطح تحت تأثير المجال الكهرومغناطيسي للضوء الساقط. وتعتمد هذه الظاهرة بشكل كبير على الحجم والشكل وطبيعة المذيب المحيط وتركيز الجسيمات، مما يجعلها وسيلة مهمة لدراسة الخصائص البصرية لهذه الجسيمات [7,8].

تُعد تقنية الاستئصال الليزري النبضي في السائل (PLAL) من الطرق الفيزيائية النظيفة والفعّالة لإنتاج جسيمات نانوية نقية دون الحاجة إلى مواد كيميائية مختزلة أو مثبتات. حيث يتم غمر الهدف الصلب في وسط سائل ثم توجيه نبضات ليزرية عالية الطاقة نحو سطحه، مما يؤدي إلى تكوين بلازما عالية الكثافة داخل السائل تتشارك في تكوين الجسيمات النانوية مع ذرات الهدف والسائل المحيط [9]. ويُعد حجز البلازما داخل السائل عاملًا أساسياً في رفع درجة الحرارة والضغط داخل منطقة التفاعل، مما يخلق بيئة مناسبة لتشكّل الهياكل النانوية ونموها [10].

في هذه العملية، تلعب طبيعة الوسط السائل دورًا حيويًا في التحكم بحجم وثبات وتوزيع الجسيمات النانوية، وذلك من خلال اختلاف الخصائص الجزيئية لكل مذيب مثل القطبية، اللزوجة، وثابت العزل الكهربائي. كما أن عدد نبضات الليزر يعد متغيرًا أساسيًا، إذ يؤدي تزايد عدد النبضات إلى زيادة تركيز الجسيمات الناتجة وتغيير خصائص الامتصاص البصري.

خلال السنوات الأخيرة، تناولت العديد من الدراسات تحضير ودراسة الخصائص البصرية لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية باستخدام تقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل. على سبيل المثال، قام Tsuji وآخرون [9] بدراسة تأثير نوع المذيب على خصائص جسيمات الحديد، حيث لاحظوا أن زيادة القطبية في المذيب تؤدي إلى تقليل حجم الجسيمات وتحسين استقراريتها. بينما أجرى Barcikowski وآخرون [10] دراسة حول العلاقة بين طاقة الليزر وعدد النبضات على إنتاج الجسيمات، وبيّنوا أن زيادة عدد النبضات ترفع من

تركيز الجسيمات في المحلول. كذلك أشار Gup-ta و Gupta [3] إلى أن التحكم في حجم وشكل جسيمات Fe_2O_3 يؤثر مباشرة على فجوة الطاقة وسلوك الامتصاص البصري. وفي دراسة أخرى أجراها Noor A. Al-Jubbori [13] باستخدام نفس التقنية لتحضير جسيمات الفضة، تم تسجيل سلوك بصري مشابه لما لوحظ في هذا البحث من حيث زيادة الامتصاص وانخفاض فجوة الطاقة مع ارتفاع عدد النبضات.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير عدد نبضات الليزر pulse(500، 700، 900، 1100) على الخصائص البصرية لجسيمات أوكسيد الحديد (Fe_2O_3) النانوية المحضّرة باستخدام تقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السائل.

2. طريقة العمل

تم استخدام قطعة من الفولاذ (Steel tar-get) عالي النقاوة (≤ 99.9٪) كمصدر معدني لتحضير جسيمات أوكسيد الحديد النانوية، نظرًا لاحتوائها على نسبة عالية من الحديد النقي الذي يشكل القاعدة الأساسية لتكوين Fe_2O_3 بعد عملية الاستئصال. اذ تم تحضير جسيمات أوكسيد الحديد النانوية باستخدام تقنية الاستئصال الليزري النبضي في السائل (PLAL). في البداية، حيث تم تقطيع الفولاذ إلى شرائح صغيرة بأبعاد تقريبية مقدارها 1 cm × 1 باستخدام أداة قطع ميكانيكية دقيقة لضمان تجانس السطح. بعد ذلك، خضعت الشرائح لعملية تنظيف تتضمن الغسل بالماء منزوع الأيونات والإيثانول لإزالة الشوائب والدهون السطحية، ثم جُففت في الهواء.

تم وضع كل شريحة في إناء زجاجي والذي تم غمره في الماء منزوع الايونات (Distilled Wa-ter) (Dw). يحتوي على 5mL حيث تمت عملية الاستئصال باستخدام منظومة والتي تتكون من مصدر ليزر(Q-switched Nd: YAG) ذي منشأ صيني من شركة(HUAFEI) بالطولين الموجيين (1064 nm, 532 nm) مع اقصى طاقة (1000 mJ) لكل نبضة وزمن النبضة(9 ns) ومعدل التكرار (6 Hz) وقطر الحزمة الفعالة هو (2 mm) التي تستخدم بالاستئصال بالليزر والعدسة المستخدمة تكون ذات بعد بؤري(20 cm) لتحقيق تدفق ليزري عالي. ويوضح الجدول (1) خصائص الجهاز المستخدم.

الجدول (1): معلمات الليزر المستخدم.

الخاصية	القيمة
مدة النبض	9 ns
معدل التكرار	6 Hz
طاقة الليزر	500mJ-1٠00mJ
الوضع العرضي	TEM00
نوع الليزر	Q-switched Nd:YAG
الطول الموجي	532nm -1064nm

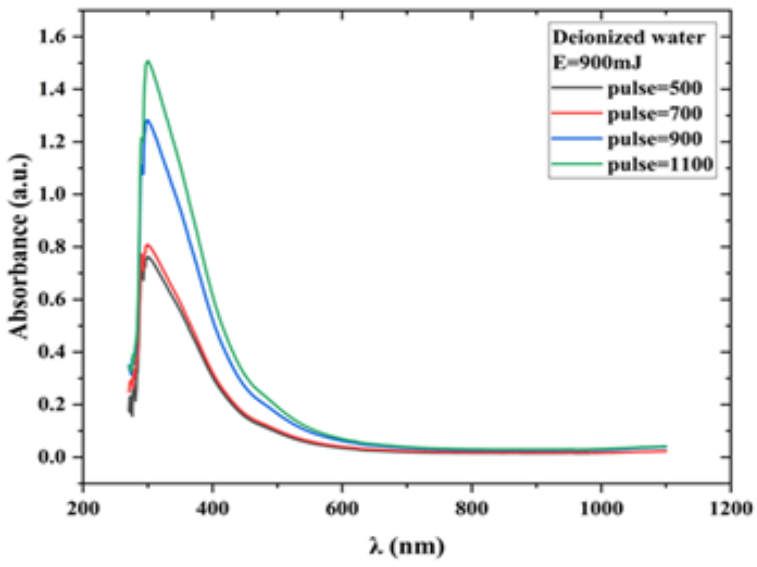
وتم تغيير عدد نبضات الليزر لتكوين جسيمات نانوية ذات تراكيز مختلفة وفق القيم pulse(500، 700، 900، 1100) مع الحفاظ على نفس الظروف التشغيلية مثل الطاقة mJ(090) والطول الموجي nm(1064) ومعدل التكرار HZ (2) لضمان مقارنة عادلة بين العينات المحضرة. إذ تغير لون الماء بعد عملية الاستئصال وهذا دلالة على تكون الجسيمات النانوية.

تم وضع المحاليل المحضرة في خلية من الكوارتز سمكها 1cm وبدرجة حرارة الغرفة ويشير تغير لون المحلول الغروي للمواد المستخدمة عن تولد جسيمات نانوية. تم قياس اطياف الامتصاص لمحاليل الجسيمات النانوية بواسطة مقياس الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية – المرئية UV-Vis-ible ضمن مدى الاطوال الموجية 1100 nm– 300 nm وذلك باستخدام جهاز (UV-Visible 1800 double beam spectrophotometer) المصنع من قبل شركة Shimadzu, Japanes.

3-1 النتائج والمناقشة

3-1 الامتصاصية البصرية

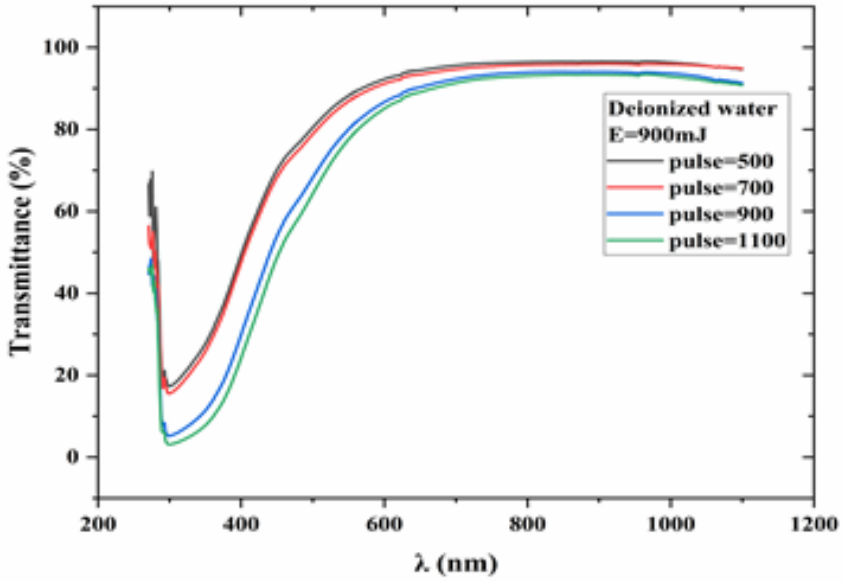
يوضح شكل (1) أطياف الامتصاص لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية المحضّرة في الماء منزوع الأيونات عند أعداد نبضات مختلفة pulse (500، 700، 900، 1100). نلاحظ زيادة تدريجية في قيمة الامتصاصية مع ازدياد عدد النبضات، ويعزى ذلك إلى زيادة عدد الجسيمات النانوية المتكونة في الوسط نتيجة الاستئصال المستمر للهدف. كما أن تغيّر لون المحلول نحو اللون الداكن مع زيادة عدد النبضات يعد دليلاً بصريًا على ارتفاع تركيز الجسيمات، وهو ما يتوافق مع الدراسات السابقة التي تشير إلى أن تزايد تركيز الجسيمات ينعكس مباشرة على شدة الامتصاص البصري [9,10].



الشكل (1): طيف الامتصاصية لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps).

3-2 النفاذية

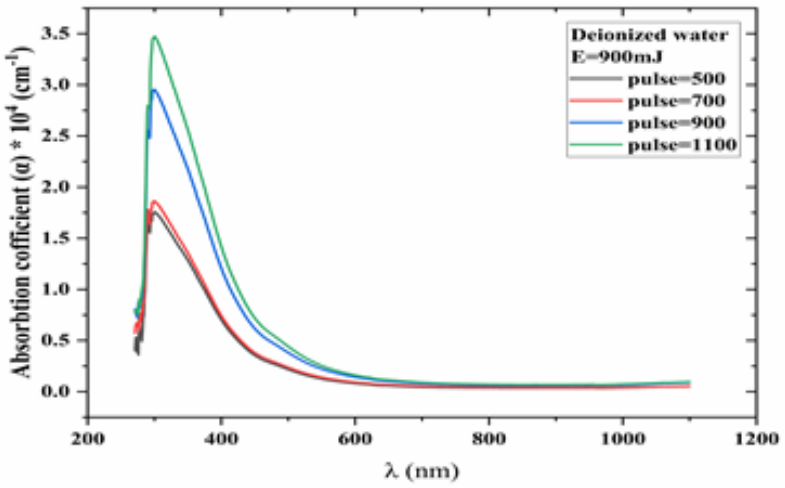
يبين شكل (2) أطياف النفاذية لنفس العينات. نلاحظ انخفاض قيمة النفاذية مع زيادة عدد النبضات، وذلك نتيجة ازدياد كثافة الجسيمات في المحلول مما يؤدي إلى امتصاص جزء أكبر من الضوء الساقط. حيث ان العلاقة العكسية بين الامتصاصية والنفاذية هنا متوقعة وتمثل سلوكًا بصريًا صحيحًا يدل على نجاح عملية التحضير وارتفاع تركيز الجسيمات مع زيادة نبضات الليزر. بناءً على ما سبق، فإن انخفاض النفاذية مع زيادة طاقة الليزر يُعد نتيجة منطقية ومترابطة مع ارتفاع الامتصاصية، ويعكس تغيرًا واضحًا في زيادة تركيز الجسيمات النانوية في المحلول[7,8].



الشكل (2): طيف النفاذية لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps).

3-3 معامل الامتصاص

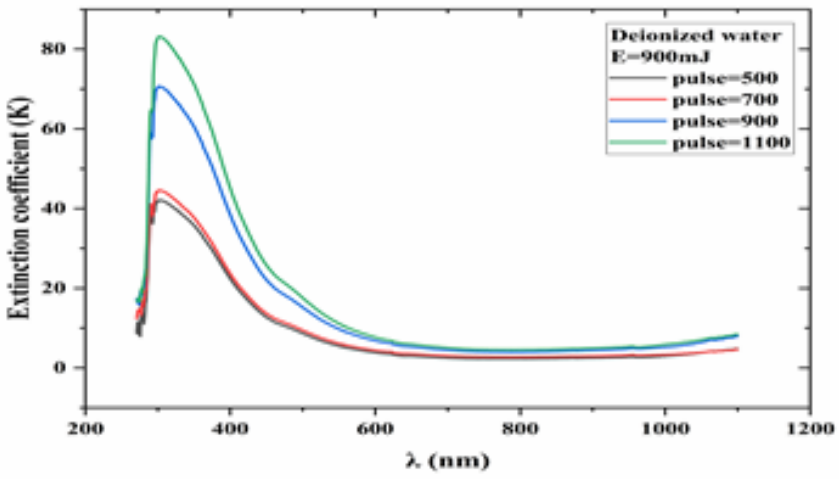
يُعد معامل الامتصاص (α) أحد المعايير الأساسية التي تعبّر عن قدرة المادة على امتصاص الضوء الداخل إليها، ويعتمد بشكل مباشر على الامتصاصية وطاقة الفوتونات. يوضح الشكل (3) معامل الامتصاص المحسوب من خلال معادلة بير-لامبرت. تزداد قيمة بزيادة عدد النبضات نتيجة زيادة حجم وعدد الجسيمات النانوية في المحلول. إن ازدياد في المنطقة المرئية يؤكد وجود انتقالات إلكترونية مباشرة مرتبطة بالبنية النانوية لـ Fe_2O_3، كما يشير إلى تحسن قدرة الجسيمات على التفاعل مع الضوء مع زيادة تركيزها [3,4].



الشكل (3): معامل الامتصاص لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps).

3 – 4 معامل الخمود K

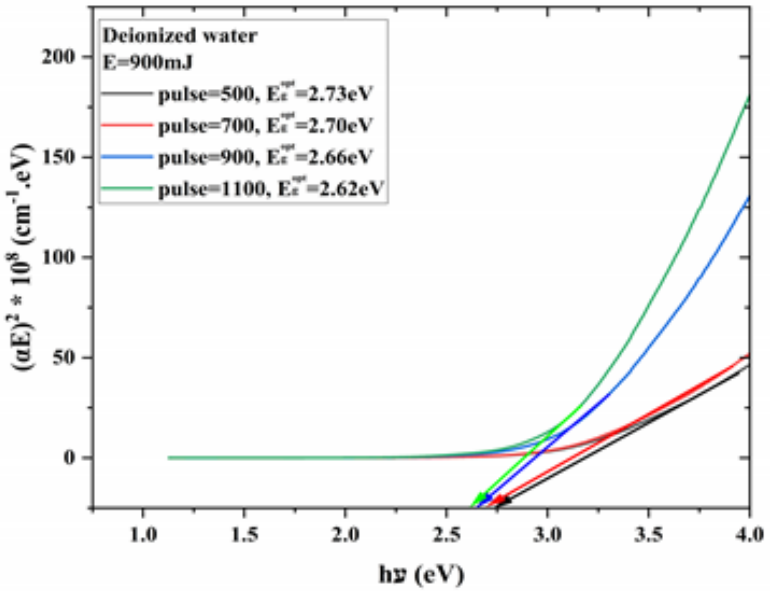
معامل الخمود البصري يُمثل جزءًا من معامل الانكسار المركب للمادة، ويُعبر عن قدرة المادة على امتصاص الطاقة الضوئية الداخلة إليها أثناء انتقالها داخل الوسط. ومن هذا يتضح أن أي زيادة في معامل الامتصاص أو الطول الموجي تؤدي إلى زيادة مقابلة في قيمة معامل الخمود k وكما يبين شكل (4) معامل الخمود (k)، والذي يُستنتج من معامل الامتصاص ومن طول الموجة. إن ارتفاع قيمة (K) مع زيادة عدد نبضات الليزر يدل على زيادة الفقد البصري في المادة، وهو ناتج عن ارتفاع عدد الجسيمات وتزايد التشتت الداخلي بين الجسيمات في الوسط السائل. وهذا السلوك يتوافق مع ما ورد في الدراسة المرجعية [11].



الشكل (4): معامل الخمود لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps).

3 – 5 فجوة الطاقة البصرية

يوضح الشكل (5) فجوة الطاقة البصرية لجسيمات الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps)، حيث أظهرت نتائج هذا البحث أن فجوة الطاقة البصرية (Eg) لجسيمات الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps). تتناقص تدريجيًا مع زيادة عدد نبضات الليزر المستخدم أثناء عملية التحضير. وقد تم تقدير قيم فجوة الطاقة باستخدام علاقة Tauc، هذا الانخفاض يشير إلى أن زيادة عدد النبضات تؤدي إلى زيادة الحجم الحبيبي والتجمع الجزئي للجسيمات، مما يقلل تأثير الحصر الكمومي ويؤدي إلى انزياح حافة الامتصاص نحو أطوال موجية أعلى (Red Shift). ويُعتبر هذا التأثير ذا أهمية كبيرة في التطبيقات التي تتطلب مواد ذات فجوة طاقة مضبوطة مثل الخلايا الشمسية، وأجهزة الاستشعار البصرية، والعوازل [13].



الشكل (4): فجوة الطاقة البصرية لجسيمات أوكسيد الحديد النانوية (Fe_2O_3 Nps).

4- الاستنتاجات

أظهرت النتائج أن زيادة عدد نبضات الليزر في أثناء عملية التحضير تؤدي إلى ارتفاع تركيز جسيمات أوكسيد الحديد النانوية في المحلول، وهو ما انعكس بوضوح على الخصائص البصرية من خلال زيادة الامتصاصية وانخفاض النفاذية وارتفاع كل من معامل الامتصاص ومعامل الخمود. كما تبين أن فجوة الطاقة البصرية أخذت بالانخفاض التدريجي مع تزايد عدد النبضات، مما يشير إلى ازدياد الحجم الحبيبي وتقليل تأثير الحصر الكمومي نتيجة تكوّن تجمعات نانوية أكبر داخل الوسط السائل. وتؤكد هذه النتائج أن التحكم في عدد نبضات الليزر يوفر وسيلة فعّالة لضبط الخواص البصرية لجسيمات Fe_2O_3 النانوية بما يتناسب مع التطبيقات البصرية والتحسسية والإلكترونية المتقدمة.

المصادر

[1] R. Feynman, There's Plenty of Room at the Bottom, Engineering and Science, vol. 23, pp. 22–36, 1960.

[2] G. Cao and Y. Wang, Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, 2nd ed., World Scientific Publishing, 2011.

[3] A. K. Gupta and M. Gupta, "Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications," Biomaterials, vol. 26, pp. 3995–4021, 2005.

[4] M. Faraji, Y. Yamini, and M. Rezaee, "Magnetic nanoparticles: Synthesis, stabilization, functionalization, characterization, and applications," J. Iranian Chem. Soc., vol. 7, pp. 1–37, 2010.

[5] C. Burda, X. Chen, R. Narayanan, and M. A. El-Sayed, "Chemistry and properties of nanocrystals of different shapes," Chem. Rev., vol. 105, no. 4, pp. 1025–1102, 2005.

[6] Y. Sun and Y. Xia, "Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles," Science, vol. 298, pp. 2176–2179, 2002.

[7] S. Link and M. A. El-Sayed, "Size and temperature dependence of the plasmon absorption of colloidal gold nanoparticles," J. Phys. Chem. B, vol. 103, no. 21, pp. 4212–4217, 1999.

[8] P. K. Jain, K. S. Lee, I. H. El-Sayed, and M. A. El-Sayed, "Calculated absorption and scattering properties of metal nanoparticles of different size, shape, and composition," J. Phys. Chem. B, vol. 110, pp. 7238–7248, 2006.

[9] T. Tsuji and K. Okazaki, "Laser ablation in liquids for nanoparticle synthesis: Fundamentals and applications," J. Photochem. Photobiol. C, vol. 9, pp. 1–17, 2008. S. Barcikowski, A. Devesa, and K. [10] Moldenhauer, "Impact and application of laser-generated colloids in nanoscience," J. .Laser Appl., vol. 24, no. 4, 042006, 2012

[11] A. Henglein, "Physical Chemistry of Small Metal Particles in Solution: The Optical and Electronic Properties of Colloidal Metals," Chem. Rev., vol. 89, pp. 1861–1873, 1989.

[12] J. A. Rojas and L. J. Rodríguez, "Effect of laser pulses on nanoparticle optical properties," Optical Materials, vol. 101, 109738, 2020.

[13] Noor A. Al-Jubbori and Mushtaq A. D. Al-Jubbori, "Preparation and study of some physical properties of silver nanoparticles by pulsed laser ablation in liquids technique," Journal of Education and Science, vol. 31, no. 2, pp. 1–9, 2022.