تأثير المجال المغناطيسي على تدوير مستوى استقطاب ضوء ليزر الهليوم – نيون في الماء المنشط بصرياً

عدي فلاح أمين **ايفان بهنام كرومي** **د.عبد الغفور إبراهيم عبد الله**

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

الاستلام **القبول**

٣١ / ٠٨ / ٢٠٠٨ ٠٨ / ٠١ / ٢٠٠٩

Abstract

The aim of this paper is to study the effect of the magnetization of water on the rotation of the plane of polarization of He-Ne laser in optical active water. Firstly the magnetic water is prepared and several properties such as refractive index, absorbance, transmittance, pH and ppm are studied and compared with natural water.

The effect of the magnetization of water on the rotation of the plane of polarization of laser light in optical active water is also investigated. Three samples of optical active water are prepared; optical active water, activated water and then magnetized and magnetized water and then activated by adding glucose to the water with different concentration. Verdet constant of the samples are also determined.

The results of this paper show that all the properties of the magnetic water are affected by the magnetic field.

The main conclusion, which is the first time to our knowledge, indicates that the sample (magnetized water and then activated) gives 18% more in the rotation of the plane of polarization of He-Ne laser in low concentration compared with activated water.

الخلاصة

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير المجال المغناطيسي في تدوير مستوى أستقطاب ضوء ليزر الهليوم – نيون في الماء المنشط بصرياً . فقد تم أولاً تحضير الماء المغناطيسي ودراسة عدد من صفاته . فقد تم حساب بعض المعلمات البصرية للماء الممغنط مثل معامل ا لانكسار، الامتصاصية، النفاذية، ومعلمات أخرى مثل الرقم الهيدروجيني pH ونسبة الشوائب الموصلة للكهربائية ppm. ومموازنتها مع الماء الاعتيادي.

تأثير مغنطة الماء على دوران مستوى إستقطاب ضوء اليزر في الماء المنشط بصرياً تم البحث فيها. ثلاث مجاميع من الماء: الماء المنشط بصرياً، الماء المنشط بصرياً ثم الممغنط، الماء الممغنط ثم المنشط بصرياً وبتراكيز مختلفة من الكلكوز في الماء الاعتيادي. كذلك تم حساب ثابت فيردت لجميع التراكيز.

أشارت النتائج أن المجال المغناطيسي يؤثر في صفات الماء في حين أظهرت هذه الدراسة ولاول مرة (حسب علمنا) أن الماء الممغنط المنشط بصرياً يزيد ١٨% من دوران مستوى استقطاب ضوء الليزر عند التراكيز القليلة بالموازنة مع الماء المنشط بصرياً.

1 : المقدمة

ليس من السهولة تعريف الماء بمعزل عن الطاقة، فالماء ممكن إن يكون في حالة غازية أو سائلة أو صلبة وذلك حسب طاقته الحرارية . كما يمكن أن يكون الماء في صورة جزيئية أو أيونية وذلك حسب طاقته الكهربائية. وفي كل الأحوال يتأثر الماء بأي صورة من صور الطاق ة الميكانيكية والحرارية والضوئية. واتضح حديثا إن المغناطيسية ليست استثناء فهي تؤثر في الماء وتغير من صفاته. أن الاختلال في توازن الشحنات الكهربائية في الماء يجعله غير حيوي وغير نشط بالرغم من المحاولات المتعددة في تنقيته إلا انه يبقى غير نشط.[3]

أن التكنولوجيا المغناطيسية، تعد في الوقت الحاضر، ثروة عظيمة وثورة في عالم الحلول الحديثة. إذ أثبتت فاعلية كبيرة من خلال التجارب التي أجريت على الماء . وعند تمرير الماء الاعتيادي من خلال مجال مغناطيسي أو عندما يوضع المغناطيس في الماء أو بالقرب منه لفترة من الزمن عندها سنحصل على الماء الممغنط، هذا الماء إنما تتغير فيه العديد من صفاته بالموازنة مع الماء الاعتيادي (قبل المغنطة). ليس ذلك فحسب وإنما دخل في العديد من الاستخدامات الزراعية والطبية والصناعية .[1]

فقد اهتم عدد من الباحثين بدراسة بعض الصفات الفيزياوية للماء الممغ نط دالة لشدة المجال المغناطيسي من جهة أو نوع التيار (مستمر / متناوب) الذي يولد المجال المغناطيسي من جهة أخرى. في حين قام آخرون بدراسة الصفات البصرية والمكونات الأساسية لماء زمزم باعتباره ماءاً ممغنطاً.[11]

في هذا البحث نحاول دراسة بعض الصفات الفيزياوية للم اء الممغنط أولاً الذي تم تحضيره في المختبر مثل معامل الانكسار والامتصاصية البصرية والنفاذية البصرية فضلاً عن التركيز وبشيء من التفصيل ثانياً على تأثير المجال المغناطيسي في دوران مستوى استقطاب ضوء ليزر الهليوم ـ نيون في الماء وفي ثلاث حالات : الماء المنشط بصرياً، الماء الممغنط المنشط بصريا والماء المنشط بصريا الممغنط. إذ تعد هذه الفكرة جديدة إذ يتم إجراؤها (حسب علمنا) للمرة الأولى.

2 : الجزء النظري

الضوء المستقطب هو موجات ضوئية ذات ترتيب منتظم أما موجات الضوء العادي فهي ذات ترتيب غير منتظم وسواء كان مصدر الضوء العادي الشمس أو مصباحاً ضوئياً فانه يتكون من موجات غير منتظمة تتذبذب في كل الاتجاهات المتعامدة على شعاع الضوء، لكن الضوء المستقطب يتكون من موجات منتظمة تتذبذب في اتجاه واحد فقط [2]. يتيح التركيب المنتظم للضوء المستقطب استخدامات واسعة لا يمكن للضوء ا لعادي (غير المستقطب) استخدامه . فعلى سبيل المثال يمكن اكتشاف التركيب الفيزيائي الداخلي لكثير من المواد الشفافة باستخدام الضوء المستقطب كما يمكن تحديد نوع السكر وتركيزه في المحاليل باستخدام جهاز قياس الاستقطابية.[5]

عندما توجه حزمة ضوئية مستقطبة (ضوء الليزر مثلاً) نحو المحور الضوئي لبلورة الكوارتز يدور مستوى الاستقطاب بانتظام حول اتجاه الحزمة لتخرج مهتزة في مستو آخر بحيث يختلف عن ذالك المستوي الذي دخلت به.

وقد وجد عملياً إن مقدار الدوران يتوقف على المسافة المقطوعة في الوسط وعلى طول موجة الضوء وهذا ينطبق تماماً على الماء المنشط بصريا[4]. على اعتبار إن كل جزيء من جزيئات السائل (الماء المنشط) بلورة صغيرة محورها الضوئي على طوله يدور مستوى الض وء المستقطب استقطاباً استوائياً، ونظراً لان اتجاه الجزيئات في السوائل يكون عشوائياً لذا يكون الدوران الناتج هو متوسط تأثير كل الجزيئات، لهذا تكون له القيمة نفسها في أي اتجاه خلال السائل [2] .

لقد وجد أن السوائل التي تتكون من مادة فعالة ضوئياً (الكلكوز) ومذيب غير فعال (الماء) تسبب دوراناً لمستوى استقطاب ضوء الليزر يتناسب مع تركيز المادة النشطة بصريا والمذابة في السائل.

إن الدوران النوعي أو قوة الدوران الذي يحدثه عمود طوله 10cm من السائل يحتوي على 1mg من المادة الفعالة للكل 1 cc من المحلول يعطى بالعلاقة (1) [2]:

$$[\alpha] = \frac{10\Delta\phi}{Cd} \quad \text{-----(1)}$$

حيث α معامل الدوران النوعي

$\Delta\Phi$ مقدار دوران مستوى الاستقطاب

C تركيز المادة الفعالة في المحلول

d طول الوسط النشط، كما يعتمد معامل الدوران النوعي على درجة حرارة الوسط والرقم الهيدروجيني PH للوسط والطول ألموجي للضوء المستقطب[5] .

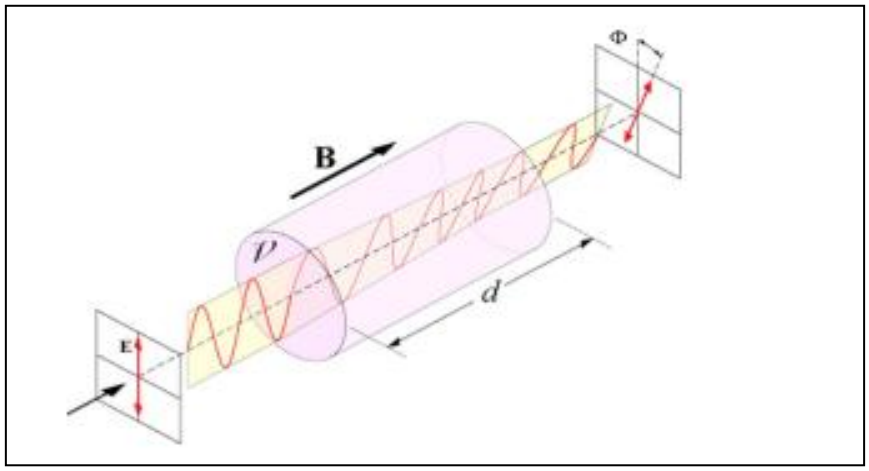
تعد ظاهرة فراداي من الظواهر المهمة في عل م البصريات ، إذ تستخدم للتحسس عن بعد لشدة المجال المغناطيسي. وهذه الظاهرة ناتجة عن تفاعل الضوء مع المجال المغناطيسي في المواد العازلة. فعند تسليط مجال مغناطيسي على بعض المواد يحدث دوران في مستوى استقطاب الضوء المستقطب المار خلال هذه المواد كما في الشكل (1) [8] . وان مقدار دوران مستوى الاستقطاب يعتمد على مركبة شدة المجال المغناطيسي المار في اتجاه حزمة الضوء وطول الوسط وذلك حسب العلاقة (2) :

$$\Delta\Phi = V B d \quad \text{----------} \quad (2)$$

حيث B شدة المجال المغناطيسي

$\Delta\Phi$ مقدار الدوران، d طول الوسط، V ثابت فيرديت Verdet.

يعتمد هذا الثابت على نوع الوسط ودرجة حرارته والطول ألموجي للضوء المستقطب [9].



الشكل (1): يوضح تأثير فاراداي في تدوير مستوى الاستقطاب بفعل المجال المغناطيسي

٣ : الجزء العملي

لغرض الحصول على الماء الممغنط ، تم في هذا البحث استخدام ملف اسطواني عدد لفاته 9000 لفة طوله 22.5cm وقطر السلك 0.6mm مجوف من الداخل بقطر 2.5cm يعطي شدة مجال مغناطيسي مقدارها 100 Gauss عند التشغيل المتناوب، كما تم تصنيع أنبوبة زجاجية ذات إبعاد تتناسب وإبعاد القطر الداخلي للملف طولها 30cm ونصف قطرها 2cm وسعتها 95cc، احد طرفيها مسدود بقطعة مطاطية ثابتة أما الطرف الأخر فيكون قابل للفت ح والغلق لغرض وضع الماء الاعتيادي (المراد مغنطته) في الأنبوبة وبعدها يتم غلق الأنبوبة بواسطة القطعة المطاطية، توضع الأنبوبة مع الماء داخل الملف الاسطواني بشكل افقي وعلى طول محور الملف وبعدها يتم تشغيل الملف اذ يقوم بتوليد مجال مغناطيسي الذي بدوره يقوم بمغن‌طة الماء. تم المغنطة بفترات زمنية مختلفة هي (2, 5, 8) دقيقة، الشكل(2) يوضح المنظومة التي تم استخدامها في مغنطة الماء.

ولغرض حساب امتصاصية ونفاذية الماء الممغنط تم تصنيع أنبوبة بلاستيكية صغيرة طولها 5cm ونصف قطرها 9mm ، نهايتاها مسدودتان بإحكام بواسط ة زجاج شفاف دائري سمكه 2mm ونصف قطره 9mm وهو نصف قطر الأنبوبة أيضاً كما تحتوي هذه الأنبوبة على فتحة دائرية في منتصفه ا قطرها 8mm وذلك لغرض إدخال الماء عن طريقها إلى الأنبوبة لغرض الفحص.

ومن بين الأجهزة التي تم استخدامها هو جهاز المطياف (Spectra Photometer) مجهز من شركة (CECIL) نوع (CE1021) إنكليزي الصنع يعمل بمدى من الأطوال موجية بين (200 – 1000) nm لقياس كل من الامتصاصية والنفاذية.

ولغرض قياس الرقم الهيدروجين ي PH (وهو دالة للحامضية أو القاعدية للمحاليل أو ما يسمى أيضاً تركيز ايونات الهيدروجين في المح لول) للماء تم استخدام جهاز (Microprocessor PH Meter) نوع H211 مجهز من شركة (Hanna) برتغالي الصنع كما تم استخدام جهاز Abbe refracto meter لغرض قياس معامل انكسار الماء.

ولغرض دراسة تأثير المجال المغناطيسي على مستوى استقطاب ضوء الليزر المار في الماء المنشط بصرياً وإيجاد ثابت فاراداي للماء النشط الممغنط تم استخدام جهاز ليزر الهليوم نيون (He-Ne) مجهز من شركة (Phywe) (بوصفه مصدر ضوء) أحادي الطول ألموجي يبعث هذا الليزر شعاعاً ضوئياً احمر اللون بطول موجي (6328Å) ويكون شعاعه مستقطباً استقطاباً استوائياً، ولغرض تحديد مقدار الدوران في مستوى استقطاب ضوء الليزر بتاثير المادة النشطة بصرياً استخدم لوح محلل مجهز من شركة (Leybold - Heraeus)، كما تم استخدام كاشف ضوئي لغرض قياس القدرة الضوئية لضوء الليزر النافذ من المحلل وهو كاشف ضوئي سلكوني نوع (RS-

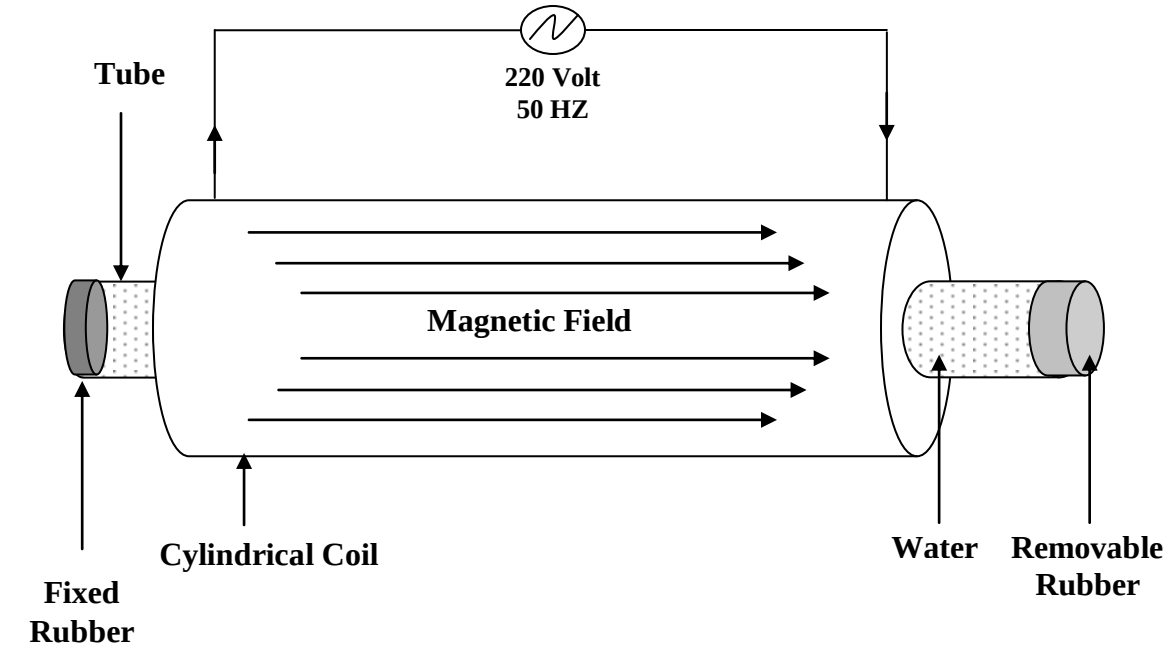
(65 UKBPX الشكل (4) يمثل المنظومة الليزرية المستخدمة في دراسة دوران مستوى استقطاب ضوء الليزر . وقد تم تحضير سبعة عينات بتراكيز مختلفة إذ تم خلط مقادير مختلفة من الكلوكوز مع 100cc من الماء وذلك لغرض الحصول على النماذج النشطة بصرياً، إذ تم الحصول على ثلاث مجاميع نشطة بصرياً هي:

١ – ماء منشط غير ممغنط .

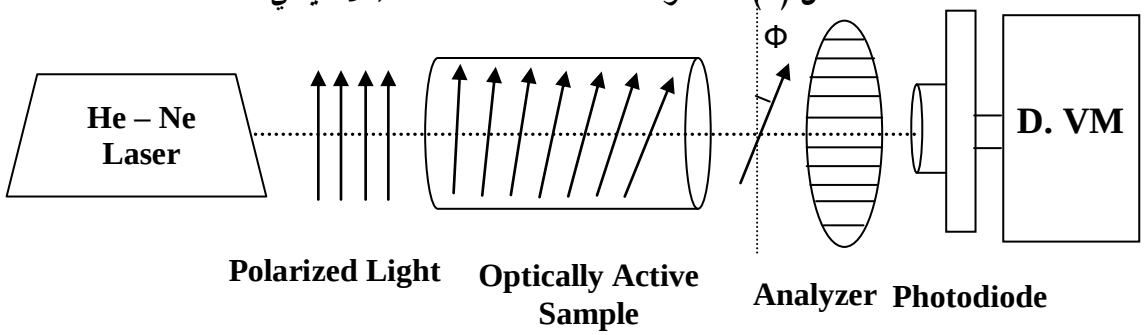
٢ – ماء منشط ثم ممغنط .

٣ – ماء ممغنط ثم منشط .

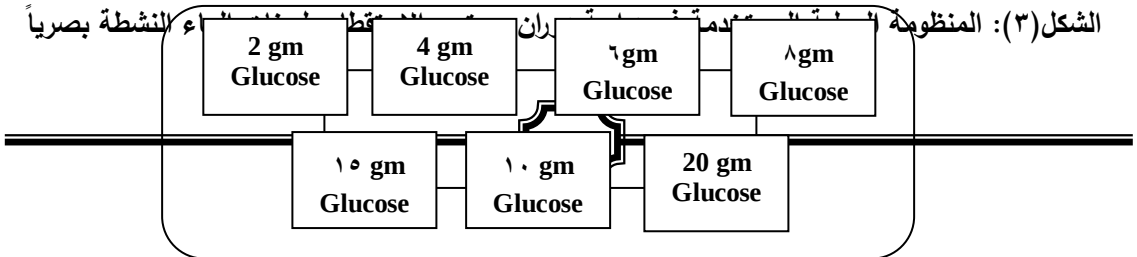
الشكل (٤) يمثل المخطط البياني الذي يوضح طريقة تحضير العينات النشطة بصرياً . كما تم استخدام أنبوبة زجاجية (لغرض وضع العينات النشطة بصرياً وتم وضعها في المجال المغناطيسي) طولها 20 cm وقطرها 1.4 cm تحتوي على فتحة في منتصفها قطرها 1cm وارتفاعها 2.2cm.



الشكل (٢): المنظومة المستخدمة لمغنطة الماء الاعتيادي



الشكل(٣): المنظومة المستخدمة في دراسة دوران مستوى استقطاب ضوء الليزر لعينات الماء النشطة بصرياً



٤ : النتائج والمناقشة

من اجل نتائج أدق وقبل أجراء الاختبارات العملية تم دراسة أستقرارية شدة المجال المغناطيسي الذي يولده الملف المستخدم إذ تم استخدام جهاز الت سلا ميتر لقياس شدة المجال المغناطيسي وفي ثلاثة مواقع من الملف الوارد في الشكل (٢) هي الحافة اليمنى والحافة اليسرى وعند نقطة في منتصف الملف الشكل (6) والذي يمثل شدة المجال المغناطيسي بوحدات الكاوس دالة لزمن التشغيل إذ يبين الشكل أن الملف يولد مجالاً مغناطيس ياً ثابتاً مع الزمن وهي فترة زمن إجراء القياسات.

تم دراسة بعض الخصائص البصرية والكيميائية للماء قبل وبعد تسليط المجال المغناطيسي عليه إذ تم قياس معامل انكسار الماء والرقم الهيدروجيني للماء PH ونسبة الايونات الموصلة (part per million) ppm للتيار الكهربائي للماء قبل التمغنط وبعد التمغنط بمجال مغناطيسي قيمته (100 Gauss) وبثلاث فترات زمنية مختلفة هي (2,5,8) mint وعند درجة حرارة ثابت (20^{o})، الجدول (1) يبين النتائج التي تم الحصول عليها.

ا لجدول [1] : معامل الانكسار والرقم الهيدروجيني ونسبة ppm للماء دالة لزمن التمغنط

زمن التمغن	PH	ppm	n
0.0mint (ماء عادي)	7.4	126	1.329
2 mint	7.58	138	1.331
5 mint	7.7	136	1.332
8 mint	7.5	131	1.330

يبين الجدول، إن معامل الانكسار يزداد عند التعرض للمجال المغناطيسي وان الرقم الهيدروجيني يزداد عند التعر ض للمجال المغناطيسي كما تزداد نسبة الأيونات الموصلة ppm عند التعرض للمجال المغناطيسي لكن هذه المعلمات تبداء بالنقصان بنسب صغيرة عند زيادة زمن التمغنط الى اكثر من 5mint. إن سبب زيادة معامل انكسار الماء بتأثير المجال المغناطيسي يعود إلى ان المجال المغناطيسي يعمل على تقوية الآصرة الهيدروجينيةة في جزيئة الماء [10] وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة في معامل انكسار الماء، إن زيادة ppm مع المجال المغناطيسي يعني زيادة التوصيلية الكهربائية مع المجال المغناطيسي ويعود سبب ذلك الى زيادة في تراصف جزيئات الماء مع المجال المغناطيسي وهذا يتفق مع نتائج الباحث I. Ibrahim [6]. الباحث Katsuki S.et a l [7] كما تم أيضاً دراسة الامتصاصية والنفاذية البصرية للماء قبل التمغنط وبعده، الشكل (7) يمثل العلاقة بين الامتصاصية البصرية عند أطوال موجية مختلفة للماء الاعتيادي (غير ممغنط) والماء الممغنط بمجال مغناطيسي 100Gauss وزمن تمغنط مقداره 2 mint وعند درجة حرارة 20°، إذ تبين النتائج إن الامتصاصية البصرية تزداد بفعل المجال المغناطيسي عند اغلب الأطوال الموجية إلا عند الطول ألموجي 500nm إذ تكون الامتصاصية اقل للماء الممغنط مما هي عليه للماء غير الممغنط.

أما الشكل (8) يمثل العلاقة بين النفاذية البصرية للماء الاعتيادي قبل التمغنط والماء الممغنط بفترة زمنية mint (2) وبمجال مغناطيسي قيمته 100Gauss بوصفه دالة للطول ألموجي يلاحظ من الشكل ان النفاذية للماء الممغنط تكون اقل من نفاذية الماء غير الممغنط ع ند اغلب الأطوال الموجية إلا عند الطول الموجي 700nm إذ تكون النفاذية متساوية بالنسبة للماء الممغنط وغير الممغنط على حد سواء إما عند الطول ألموجي 900nm فان نفاذية الماء العادي تكون اكبر من نفاذية الماء الممغنط.

الشكل(9) يمثل العلاقة بين مقدار تركيز ا لكلوكوز في الماء وزاوية دوران مستوى الاستقطاب عند التراكيز (20, 40, 60, 80, 100, 150, 200)mg/ml. للمجاميع المنشطة الثلاث:

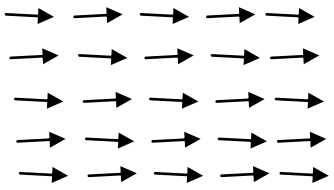
١ – ماء منشط .

٢ – ماء منشط ثم ممغنط .

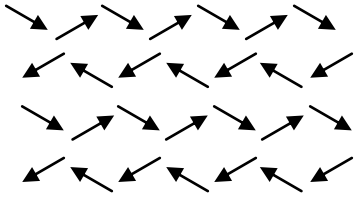
٣ – ماء ممغنط ثم منشط .

يلاحظ من الشكل ولكل المجاميع إن زاوية دوران مستوى استقطاب ضوء الليزر تزداد بزيادة نسبة التركيز وهذا متفق عليه وحسب العلاقة (1). إما الماء الممغنط ثم المنشط فان زاوية دوران مستوى الاستقطاب تكون اكبر مما هي عليه للماء المنشط ولجميع التراكيز المقاسة . وهذا يعني ان مغنطة الماء قبل التنشيط هو الذي يزيد من دوران مستوى استقطاب ضوء الليزر والذي ق د يصل إلى ١٨% عند التراكيز القليلة 20mg/ml و١٠% عند التراكيز العالية من النماذج قيد الدراسة وتعد هذه النتيجة مهمة في علم البصريات إذ تم مشاهدتها للمرة الأولى حسب علمنا ما يعني أنها تزيد من كفاءة السائل في تدوير مستوى الاستقطاب .

ولتفسير هذه الاختلاف لابد من معرفة الفرق بين الماء الممغنط والماء غير الممغنط ، إن الماء غير الممغنط تكون الجزيئا ت موزعة توزيعاً عشوائياً وبالتالي لا وجود للعزوم المغناطيسية للمادة (الماء) كما في الشكل (5a)، إما في حالة تسليط مجال مغناطيسي خارجي على الماء فان جزيئات الماء تتراصف في اتجاه واحد كما في الشكل (5 b).



الشكل (5 b) اصطفاف شبه منتظم للعزوم المغناطيسية في ماء عند تسليط مجال مغناطيسي

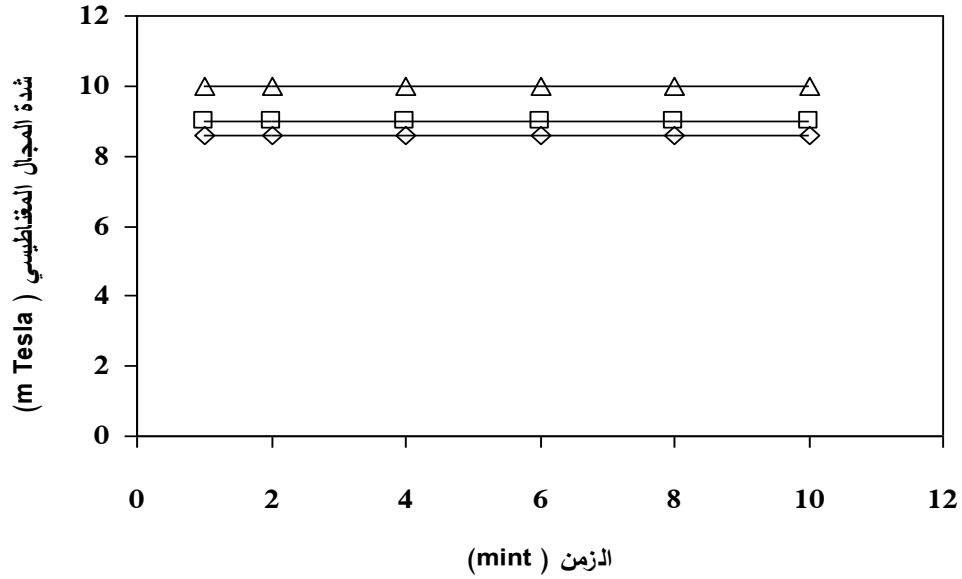


الشكل (5 a) تمحور عشوائي للعزوم المغناطيسية في ماء غير ممغنط

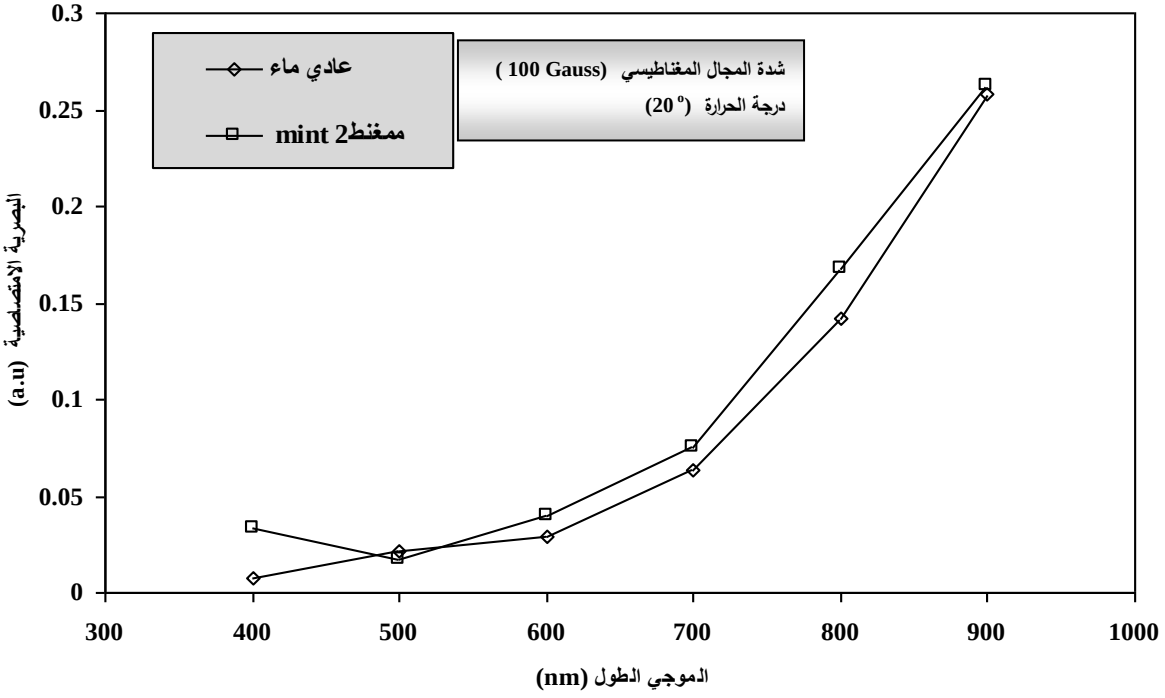
ولما كان دوران مستوى الاستقطاب الناتج في السوائل يعتمد على متوسط تاثير اتجاه الجزيئات في التوزيع العشوائي (الماء غير الممغنط)[2] وان الماء الممغنط الذي ينظم اتجاه الجزيئات من شأنه يزيد من مقدار الدوران ك ما هو الحال في الماء الممغنط ثم المنشط، إما سبب النقصان في مقدار دوران مستوى استقطاب الضوء بالنسبة للماء المنشط ثم الممغنط يرجع إلى إن الماء بعد تنشيطه بمادة الكلوكوز قد يكتسب ترت يباً معيناً بحيث عند تسليط مجال مغناطيسي عليه (ربما) يعمل على تكوين ترتيباً غير منتظم من شأنه يقلل زاوية دوران مستوى الاستقطاب.

أما الشكل (10) فيمثل العلاقة بين تركيز الكلوكوز في الماء وثابت فيرديت الذي تم إيجاده من العلاقة (2) للماء المنشط ثم الممغنط إذ وجد أن ثابت فيرديت للماء المنشط (نموذج 20

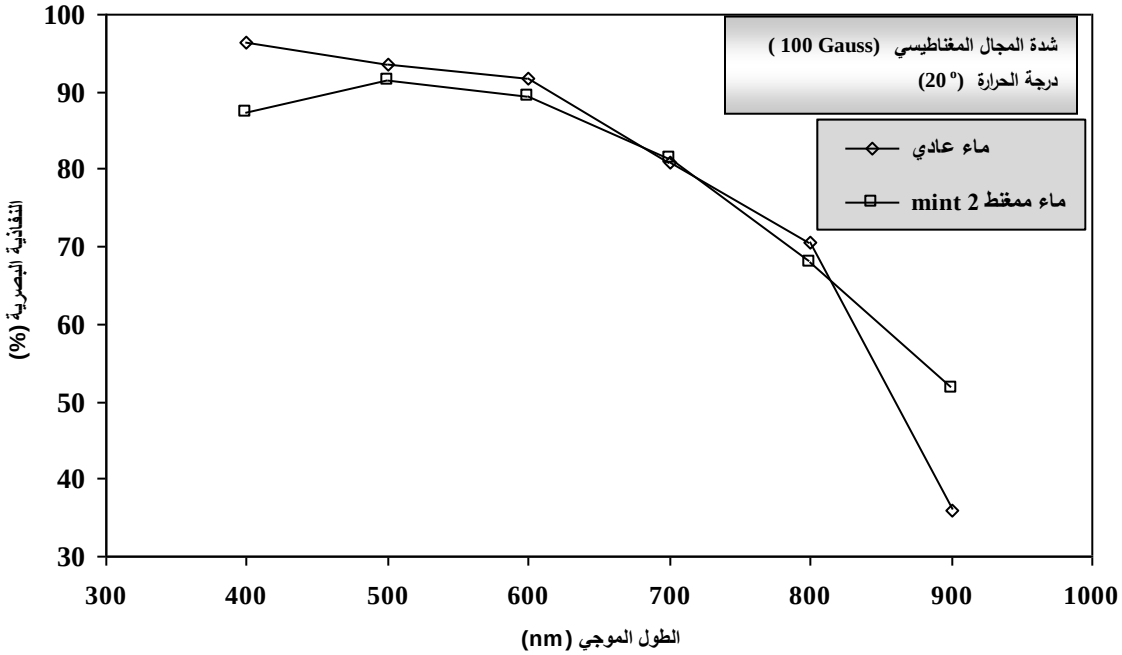
(mg/ml) هو بحدود (1.7×10^{-5} rad /Gauss.cm) ومقارنة مع الباحث Sayan K. [9] الذي وجد ان ثابت فيرديت للماء الاعتيادي هو بحدود (1.3×10^{-5} rad/Gauss.cm) نجد انها مقاربة للنتيجة اما الباحث P. Maseberg [8] فقد وجد ان ثابت فيرديت للماء بحدود (1.56×10^{-5} rad/Gauss.cm) وهي مقاربة للنتيجة التي حصلنا عليها في هذه الدراسة، ومن الشكل نفسه يتبين ان هذا الثابت يزداد بزيادة نسبة تركيز الكلوكوز في الماء.



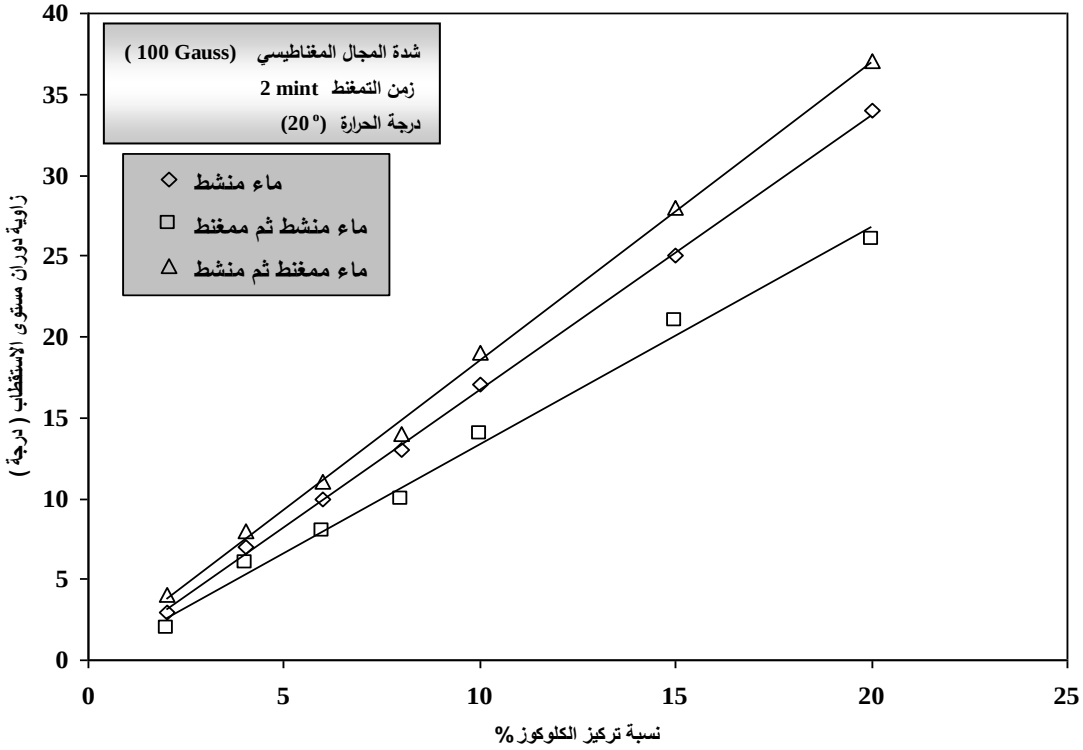
شكل (6): استقرارية المجال المغناطيسي مع الزمن



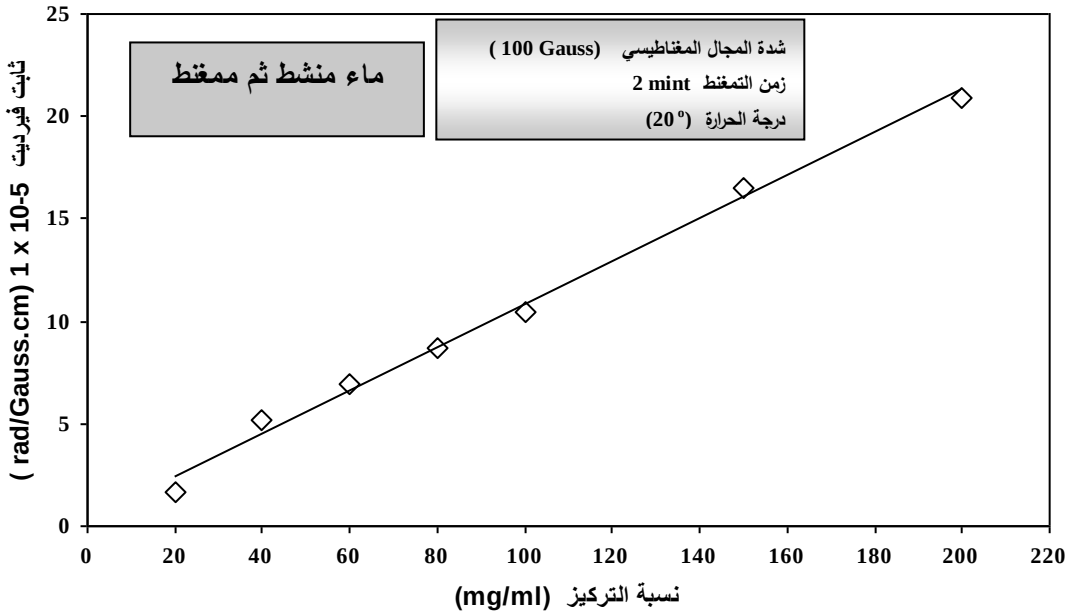
شكل (7): امتصاصية الماء الاعتيادي والماء الممغنط بزمن mint 2 كدالة للطول الموجي



شكل (8): نفاذية الماء الاعتيادي والماء الممغنط بزمن 2 mint كدالة للطول الموجي



الشكل (9): العلاقة بين نسبة الكلوكوز في الماء وزاوية دوران مستوى استقطاب ضوء الليزر في ثلاث حالات :
١- ماء منشط ، ٢- ماء منشط ثم ممغنط ، ٣- ماء ممغنط ثم منشط



الشكل (10): تغير ثابت فيرديت مع نسبة تركيز الكلوكوز في الماء المنشط ثم الممغنط

5 : الاستنتاجات

بينت هذه الدراسة أن المجال المغناطيسي بقيمة 100 Gauss يوثر في معظم الخصائص الفيزيائية والبصرية للماء كونه يحدث تغيراً في ترتيب اتجاه الجزيئات التي يتكون منها الماء . وان زيادة في زمن التمغنط يسبب عدم انتظام ترتيب الجزيئات وهذه هو سبب نقصان في بعض المتغيرات الفيزيائية مع زيادة زمن التمغنط، من جهة أخرى خرجت الدراسة باستنتاج جديد هو أن مغنطة الماء أولاً ثم إضافة الكلكوز (نموذج الماء الممغنط ثم المنشط) يزيد من تدوير مستوى استقطاب ضوء الليزر بنسبة تصل إلى ١٨% في التراكيز القليلة.

المصادر

[1]. السنجاري، زياد أيوب (٢٠٠٧) "**تأثير الماء الممغنط في تناسق الإرواء لمنظومة الري بالرش الثابت**" رسالة ماجستير مقدمة إلى مجلس كلية الهندسة جامعة الموصل.

[2]. جينكينز، فرنسيس وهارفي هوايت (١٩٨١) "**أساسيات البصريات** " الطبعة الرابعة، دار ماكجرهيل للنشر

[3]. http//www. ***Arab chemistry***.net

[4]. http// www**. *light polarization***.com

[5]. Brent D. et al (**1997**) "***Noninvasive glucose sensing utilizing a digital closed – loop polarimetric approach***" IEEE, Vol. 44, No.12, PP: 1221 – 1227.

[6]. Ibrahim I. (**2006**) "***Biophysical properties of magnetized distilled water***" Egypt.J. Sol., Vol. 29, No.2, PP: 363 – 369.

[7]. Katsuki S. et al (**2002**) "***Electrical and optical characteristics of water under high electrical stress***" Physical electronic research institute, Old dominion university, Norfolk, VA 23529, USA

[8]. Maseberg P. (**2002**) "***A measurement of faraday effect***" Frot hays state university, 600 park street, hays, Kansas 67601. USA

[9]. Sayan K. (**1997**) "***Faraday effect rotation for water and flint glass***" Physics department, the college of Wooster, Wooster, Ohio 44691. USA

[10]. Semikhina L. and Kiselev V. **(1986)** "***Effect of weak magnetic field on the properties of water and ice***" Russian physics journal, Vol. 31, No.5, PP: 351 – 354.

[11]. Zaiat S. (**2007**) "***Inherent optical properties of zamzam water in the visible spectrum: Dispersion analysis***" the Arabian journal for science and engineering, Vol. 32, No.2A, PP: 171 – 180.