تاثير الشدد المغناطيسية المختلفة على بكتيريا (*Escherichia coli and Staphylococcus aureus*) المتواجدة في المياه السطحية

علي جلوب خريبط، سؤدد عواد كاظم، لقاء حسين عبد الرحيم، عقيل كاظم علوان و علي سالم عبد الساده

وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة البيئة والمياه والطاقات المتجددة / بغداد – العراق

الخلاصة

نتيجة للنمو السريع للأحياء المجهرية التي تسبب الكثير من الامراض الشائعة, لقد اصبح من الضروري البحث عن تقنيات معالجة مبتكرة وجديدة صديقة للبيئة لتقليل التلوث الميكروبي في المياه. وبما ان المجالات المغناطيسية هي احد العوامل التي تؤثر على الكائنات الحية الدقيقة, مثل البكتيريا االسالبة لصبغة الجرام والموجبة الجرام. استخدمت عدة شدد مغناطيسية ثابتة وهي (٥٠٠, ٢٠٠٠, ٢٧٥٠, ٤٧٠٠ و ٦٥٠٠) Gauss وبسرع تدوير النماذج (٦٠, ١٠٠, ٢٠٠, ٣٠٠, ٤٠٠ و ٥٠٠ rpm). اظهرت النتائج ان استخدام التقنية المغناطيسية متزامنة مع عملية التدوير وكانت ذات فاعلية لخفض النشاط البكتيري. وكانت الشدة المغناطيسية 6500 Gauss اكثر تأثير على بكتيريا *Staphylococcusm Aureus* و *Escherichia -Coli* خلال الساعة الاولى من زمن المعالجة حيث بلغت نسبة الخفض (٩٢٪ , ٩٤٪) على التوالي, اما في حال استخدام التدوير للنموذج داخل المجال المغناطيسي لوحظ زيادة التاثير على بكتيريا *Staphylococcus Aureus* و *Escherichia-Coli*, عند السرعة 400 rpm والتي زادت من عملية قتل البكتيريا بنسبة وصلت الى ١٠٠٪ و ٩٨٪ على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الكائنات الحية الدقيقة ,المجال المغناطيسي ,الكهرومغناطيسية و قوة لورنز.

Effect of Different Magnetic Intensity on Bacteria (*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*) in Surface Water

Ali Challob Khraibet Suadad Awad Kadum Liqaa Hussein Abdul Raheem
Aqeel Kazem Alwan Ali Salem Abdul Sadah
Ministry of Science and Technology/ Environment, Water and Renewable Energy
Baghdad – Iraq
E_mail:ali_most74@yahoo.com

Abstract

As a result of rapid growth for microorganisms which causes many widespread diseases, if has become necessary to search for new environmentally friendly treatment techniques to reduce microbial contamination in water. Magnetic fields are a physical factor that affects micro organisms, gram negative and gram positive bacteria. Used static magnetic fields with magnetic intensity (500, 2000, 2750, 4700 and 6500 Gauss) and rotating speed of sample (60, 100, 200, 300, 400 and 500 rpm). Results of research indicate that use of magnetic technology simultaneously with sample rotating. Magnetic intensity of 6500 Gauss has most effect on *Staphylococcus Aureus* and *E- Coli* bacteria during first hour of treatment time, where percentage of reduction was (92%, 94%), respectively, in case of using rotation of sample within magnetic field, it was observed that effect on *staphylococcus Aureus* and *Escherichia-Coli* bacteria increased, at a speed of 400 rpm, which increase process of killing bacteria in percentage of 100% and 98%, respectively.

Keywords: Micro Organisms, Magnetic Field and Electromagnetism Lorenz Force.

المقدمة

يعد النمو السريع للكائنات الدقيقة مشكلة خطيرة للعاملين في مجال معالجة المياه, الاغذية و الرعاية الصحية (Kurniawan, *et al*., 2020). البكتيريا هي خلايا بدائية النواة ذات اغشية خلوية جيدة التصميم. غشاء الخلية يلعب دورا رئيسيا في فهم آلية النمو الخلوي والسلوك البيئي لان امتصاص العناصر الغذائية يحدث من خلال غشاء الخلية (Ghassemi, *et al*., 2021). ان قسم من الكائنات الدقيقة بما فيها بعض الانواع البكتيرية تكون آمنة ومفيدة لجسم الانسان وذلك لتسهيل العديد من العمليات الاحيائية, بينما البعض الاخر منها ضار جدا مسببة الامراض المعدية (Gallo, *et al*., 2020). اجريت العديد من الدراسات مثل تاثير المجال المغناطيسي الضعيف على نمو البكتيريا, ويمكن التعامل مع الخلايا الحية كنظم كهرومغناطيسية (Lai, 2019). الخلايا البكتيرية تتكون من السايتوبلازم والقنوات البكتيرية وتكون محاطة بجدار خلوي مع اجزاء خلوية اخرى يتفاعل السايتوبلازم مع الايونات المشحونة وتستخدم الطاقة الكهرومغناطيسية والطاقة الكيميائية لنقل الايونات داخل الخلية ومحيطها (Muras,*et al*.,2019). الادينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine Triphosphate(ATP) هو جزيء عالي الطاقة يوجد داخل الخلايا وتخزن فيه الطاقة (حرارة) ويعمل كبطاريات او محركات طاقة موفرة الطاقة المطلوبة للسايتوبلازم والنيوكليوبلازم لكل خلية, وكذلك لها القدرة على إنتاج ايونات سالبة الشحنة عند مستويات طاقة عالية. ان المجالات الكهرومغناطيسية لها تاثير على تنظيم السيتوبلازم والنيوكليوبلازم والديناميات الخلوية (Masood, 2017). ان آلية نقل الكتلة والطاقة بين الخلية والمناطق المحيطة بها غالبا هي مسؤولة عن النمو الخلوي وهيكلها ومعدل تكاثرها (Radhakrishnan, 2019). تتحكم المجالات الكهرومغناطيسية في الحركة الايونية للسوائل بالاضافة الى معدل نقل الايونات عبر الغشاء الخلوي, ويكون نمو الخلايا والتحكم بها عن طريق الانتقال الايوني وديناميكية اغشية الخلية (Ross, 2017).

يلعب المجال المغناطيسي دورا مهما في الحركة الايونية للموائع وله تاثير قوي على سرعة النمو النهائية للبكتريا في الوسط السائل حسب قوة واتجاه المجال المغناطيسي (Dufrêne and Persat, 2020). المجالات الضعيفة من المتوقع ان يكون لها تاثيرات ضعيف ومهملة, وهذا صحيح للفترات القصيرة لكن وجد ان تاثير المجال المغناطيسي الضعيف على فسيولوجية البكتيريا والية نموها يكون مؤثر في وقت التعرض الطويل, والمجالات المغناطيسية الضعيفة تنتج اضطرابا بسيطا لا يظهر اي تاثير كبير ما لم تتكرر عدة مرات, في حين ان ديناميكية غشاء الخلية تضطرب مع الاختلاف في المجال المغناطيسي (Do, 2018). لقد وجد ان التعديل في الديناميكية الخلوية ونقل الايونات في الالكتروليتات يغير معدل نمو مختلف الانواع البكتيرية. المجالات المغناطيسية القوية تؤثر على المستوى الجزيئي, في حين المجالات الضعيفة تؤثر على النمو والسلوك الخلوي بسبب الديناميكية والسلوك الموقعي للعناصر الغذائية (Do, 2018). عند تحريك خلية داخل مجال مغناطيسي وتقطع خطوط المجال المغناطيسي, من الممكن للخلية توليد تيارا مستحثا في الكائن الحي, وهذا هو السبب الرئيسي وراء تاثير الحث المغناطيسي على الكائنات الحية الدقيقة. بشكل عام, هنالك مواد بارا مغناطيسية ودايا مغناطيسية في الكائنات الحية, يمكن اعتبار كل خلية بيولوجية بمثابة ايون او بطارية صغيرة (Konopacki and Rakoczy, 2019). هنالك مجموعة متنوعة من الايونات (N^+, K^+ , Ca^{2+} او ايونات اخرى) والجزيئات البيولوجية (احماض نووية, بروتينات الاحماض الامينية, والبوليمرات الاخرى) التي

تكون موجودة في شكل ثنائية القطب في الخلايا (Manoj, *et al.*, 2022) (Guo, *et al.*, 2021). على سبيل المثال تحنوي الاحماض الامينية على مجموعة amino (+) و carboxyl (−) لتشكيل ثنائية القطب مع مجموعة ثنائية قطب اخرى. تولد الشحنة الكهربائية المحلية او الثنائية القطب في هذه الكائنات الحية الدقيقة تيارا بيولوجيا استجابة للحقل المغناطيسي المطبق. علاوة على ذلك, هنالك ايونات مختلفة داخل وخارج غشاء الخلية بنفاذية وتوزيع غير متساو, مما يؤدي الى فرق جهد محتمل بين داخل وخارج غشاء الخلية. ومن بعد ذلك عندما تهاجر الايونات في القنوات الايونية لغشاء الخلية يتم ايضا توليد تيارا بيولوجيا محدد. تسبب المجالات المغناطيسية قوة دافعة كهربائية في الكائنات الحية ومن ثم تنتج تاثيرات بيولوجية مختلفة (Liu, *et al.* 2021). من المعروف ان البكتيريا تحتوي على محلول ملحي يحيط به جدار الخلية, لذا عند وجود خلية بكتيرية داخل مجال مغناطيسي منتظم وتدور بسرعة عالية, فان الايونات سوف تتاثر بهذه السرعة وفق قوة لورنز وبالتالي يسرع من اختلاف pH والذي بدوره يؤدي الى عملية هدم الخلية وموتها. يمكن تدمير الخلايا, او تغيير مسار الايونات الداخلية لغشاء الخلية عندما يصل التيار المستحث الى شدة معينة (10^{-3} Am^{-2}) مما يؤدي الى تغيير طبيعة البروتين او اتلاف نشاط الانزيم بشكل كبير. عند زيادة الفيض المغناطيسي تزداد كثافة الشحنة, لذلك تزداد القوة بين التيار المستحث و المجالات المغناطيسية مما يضر بطبيعة التشكيل والوظيفة الفسيولوجية للخلايا وهذا بدوره يجعل المزيد من الخلايا البكتيرية غير قادرة على تحمل تاثير المجال المغناطيسي وبالتالي يتم تعطيل الخلية (Al Tbeishat, 2022).

عند تعرض الكائنات الحية الدقيقة للمجال المغناطيسي, غالبا ما تكون الجسيمات المشحونة في الخلايا (الالكترونات والايونات ذات الكتل الصغيرة) مقيدة داخل دائرة ذات نصف قطر معين بسبب تاثير قوة لورنز (Gu and Murakami, 2021). شدة المجال المغناطيسي العالية غالبا ما تتوافق مع نصف قطر حركة صغيرة من الجسيمات المشحونة كهربائيا اعتمادا على شدة المجال المغناطيسي, يمكن ان يحدث للجسم المشحون ثلاثة مسارات وهي (Jiancun, *et al.*, 2022) (Guo, *et al.*, 2021):

اولا يكون نصف قطر Larmor اكبر من حجم الخلية, عندما تكون شدة المجال المغناطيسي ضعيفة, ويمكن للجسيمات المشحونة في الخلية الميكروبية ان تتحرك بحرية, قد تكون الجسيمات المشحونة اكثر توجها وتزامنا مع مركز التفاعل, مما يعزز نمو الخلايا وانقسامها. ثانيا يكون نصف قطر Larmor يساوي حجم الخلية عندما تكون شدة المجال المغناطيسي معتدلة, وتاثير المجال المغناطيسي يكون غير واضح. ثالثا يكون نصف قطر Larmor اصغر من حجم الخلية عندما تكون شدة المجال المغناطيس قوية, مما يؤدي الى فشل نقل الالكترونات والايونات في الخلية, وهذا بدوره يؤثر على الوظائف الفسيولوجية الطبيعية للخلية. نتيجة لذلك, عند وصول شدة المجال المغناطيسي الى القيمة الحرجة, فأن الجسيمات الكهربائية داخل الخلية البكتيرية سوف تصنع طوق محيطي بشكل متكرر, علاوة على ذلك, تتعرض الجزيئات الكبيرة في الخلايا للمجال المغناطيسي مثل الانزيمات التي تكون مشوهة بسبب اتجاهات حركة الشحنات المختلفة, والذي يغير نشاط الانزيم والانشطة الفسيولوجية الطبيعية للخلايا. لذلك, يمكن تحقيق الضرر المتزايد للكائنات الحية الدقيقة عندما تزداد شدة المجال المغناطيسي.

يهدف هذا البحث الى معرفة تاثير الشدد المغناطيسية الضعيفة والقوية على سلوك ونمو البكتيريا ودراسة فسلجتها وتاثير العوامل الفيزيائية الاخرى عليها عندما تكون نماذج البكتريا داخل المجال المغناطيسي ثابتة ومتحركة.

المواد وطرائق العمل

استخدمت نوعان من الخلايا البكتيرية وهما موجبة الجرام وسالبة الجرام في هذا البحث كما واستخدمت شدة من المجال المغناطيسي لقتل البكتيريا من كلا النوعين (غشاء الخلية سالب الجرام وموجب الجرام) وهو المجال المغناطيسي المستخدم لمعالجة المياه الملوثة بالبكتيريا او الكائنات الحية الدقيقة.

العمل البايلوجي

a. اخذت عينات من مياه نهر دجلة قرب مجمع مدينة الطب, جهزت العزلات البكتيرية المشخصة (*Escherichia coli, Staphylococcus aureus*) في مختبر البكتريولوجي / قسم المعالجات الاحيائية /مركز بحوث المياه/ دائرة البيئة والمياه والطاقات المتجددة.
b. نشطت البكتريا بأخذ Loopful واحد وتنميتها على وسط Nutrient broth لمدة ٢٤ ساعة وبدرجة ٣٧م° تم مقارنة النمو مع محلول ماكفرلاند والذي يعادل (0.5) أي ($1.5*10^8$) خلية بكتيرية.
c. عملت سلسلة تخافيف عشرية (١٠$^{-١}$–١٠$^{-٦}$) لبكتريا *E.coli* و (١٠$^{-١}$–10^{-10}) لبكتريا *Staphylococcus aureus* للعالق البكتيري.
d. اجريت عدة معاملات مغناطيسية على العالق البكتيري لمعرفة تاثير الشدد المغناطيسية المختلفة وبفترات زمنية مختلفة على النمو البكتيري.
e. تنمية العالق البكتيري المعامل مع السيطرة (العالق البكتيري بدون معاملة) وذلك باخذ ١ مل من العينة باستخدام وسط Nutrient Agar وبثلاث مكررات وحضنت الاطباق بدرجة ٣٧م° لمدة ٢٤ ساعة وقرات نتيجة النمو وقورنت نتائج النمو قبل وبعدالمعاملة.

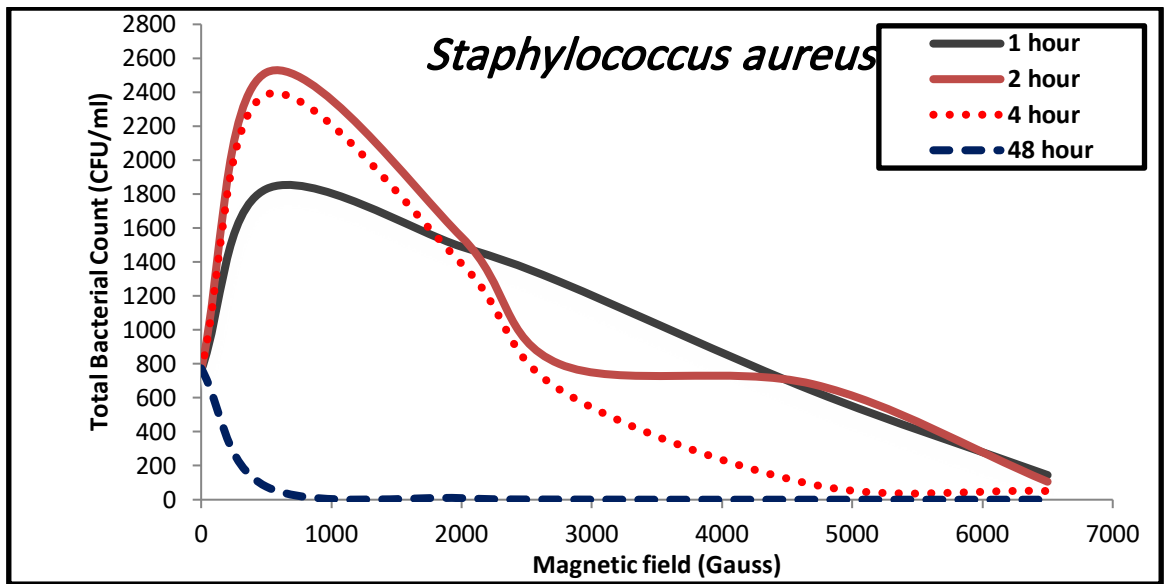
العمل الفيزياوي

a. تجميع منظومات مغناطيسية ثنائية القطبية ذات شدة مغناطيسية (500, ٢٠٠٠, 2750, 4700 و Gauss 6500).
b. استخدام خلاط كهربائي متغير السرع (100–٥٠٠ rpm) لتدوير العينة داخل المجال المغناطيسي.

النتائج والمناقشة

تاثير المجال المغناطيسي على بكتريا *Staphylococcus aureus*

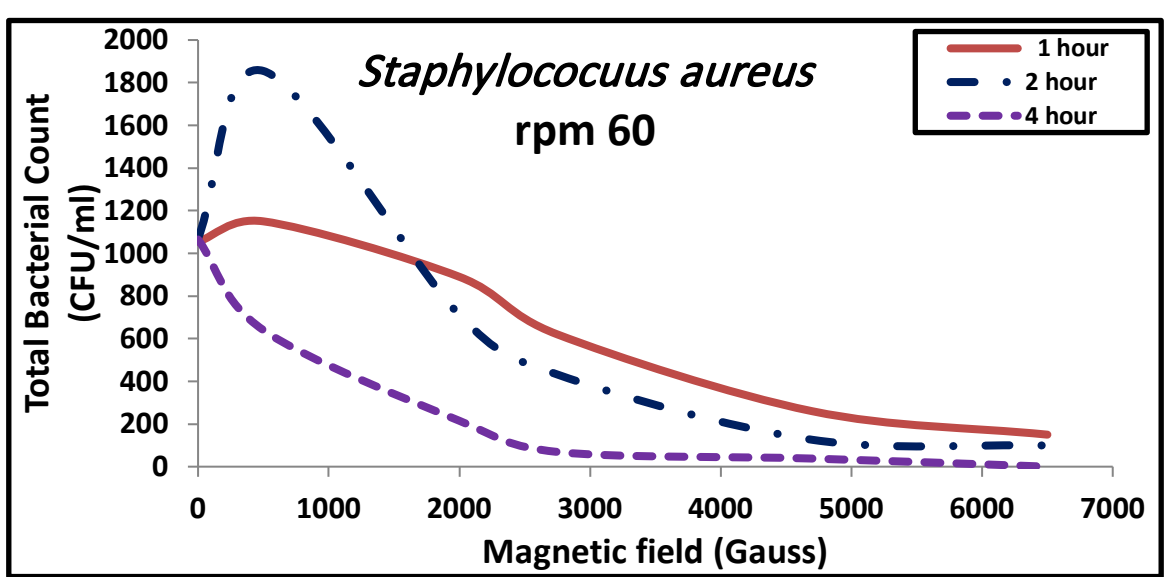
الشكل ١ يبين تأثير المجال المغناطيسي على بكتريا *Staphylococcus aureus*, وكما موضح في الشكل والذي يبين سلوك البكتريا خلال ٤٨ ساعة وبتاثير شدد مغناطيسية مختلفة. قبل بدء التعرض للمجال المغناطيسي كان سلوك نمو البكتيريا منتظم, لكن بعد تسليط مجال مغناطيسي ثابت وبشدد مغناطيسية (500, ٢٠٠٠, 2750, 4700 و 6500 Gauss) على التوالي, نلاحظ خلال الازمنة ١, ٢ و ٤ ساعة ان معدل النمو قد زاد عن الحد الطبيعي نتيجة النشاط والعمليات الايضية للخلايا البكتيرية, بينما عند تسليط شدد مغناطيسية عالية فان النمو البكتيري انخفض بشكل كبير خلال الساعات الاولى وتضمحل وتموت حتى عند الشدة المغناطيسية Gauss 2000.



شكل (١) تأثير الشدد المغناطيسية المختلفة على نمو بكتريا *Staphylococcus aureus*

تأثير المجال المغناطيسي والتدوير على بكتريا *Staphylococcus aureus*

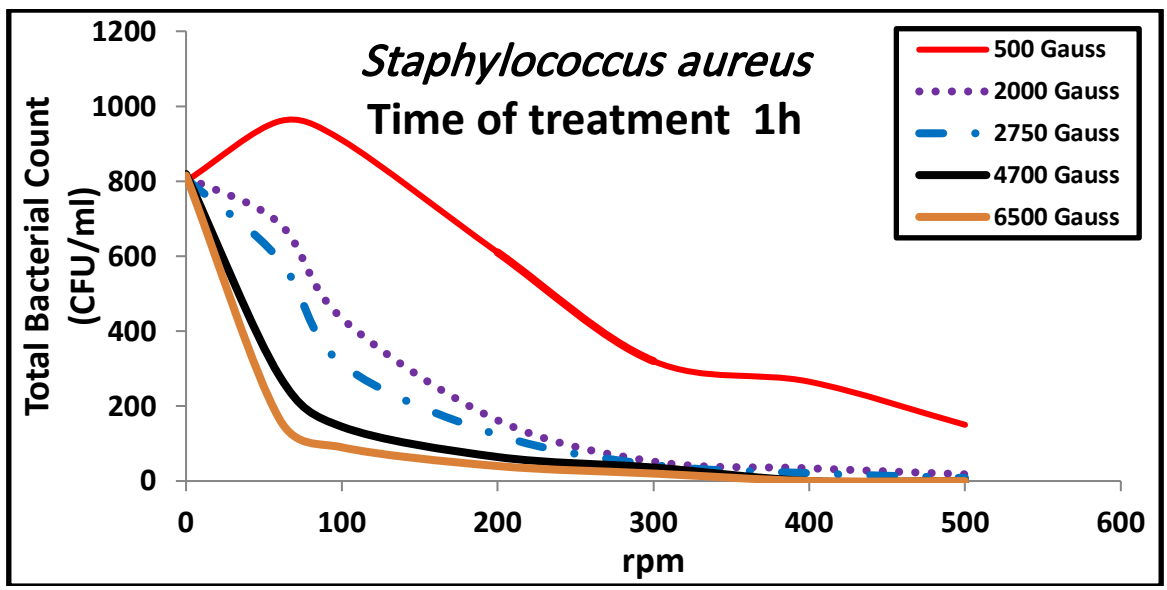
في هذه المرحلة من المعالجة اضيفت عملية التدوير للعينة داخل المجال المغناطيسي ٦٠ rpm ,الغاية منها لتحسين المعالجة المغناطيسية وتقليل الزمن الذي يعد العامل المهم في تقييم عمل منظومات المعالجة, في الشكل ٢ نلاحظ أن تاثير المجال المغناطيسي واضحا على النمو البكتيري, قبل بدء المعالجة كان معدل النمو بحدود 1100 CFU والذي شهد نموا طفيفا عند الشدة المغناطيسية 500 Gauss وللفترتين الزمنيتين ١ و ٢ ساعة, اما عند الشدد الاخرى فان الفرق بدء واضحا في تحديد النمو ولاسيما الشدة المغناطيسية 6500 Gauss التي شهدت انخفاضا عاليا خلال الساعتين الاولى والثانية وقتل تام لجميع البكتريا للفترة الزمنية ٤ ساعات, نلاحظ هنالك فرق واضح من خلال الشكل اعلاه من حيث الحد من النمو البكتيري و زمن المعالجة.



شكل (2) تأثير الشدد المغناطيسية المختلفة وسرعة التدوير على نمو بكتريا *Staphylococcu aureus*

تأثير المجال المغناطيسي وسرع التدوير المختلفة على بكتريا *Staphylococcus Aureus*

بعدما تبين من خلال التجارب المختبرية ان لعملية تدوير العينة داخل المجال المغناطيسي تاثيرها واضح, فمن خلال الشكل ٣ والذي يبن العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي والتدوير وتاثيرهما المباشر على النمو البكتيري, نلاحظ وجود علاقة طردية بين السرعة والشدة, نلاحظ من خلال الشكل عند السرعة 400 rpm وبشدد مغناطيسية ٤٧٠٠ و ٦٥٠٠ Gauss ان النمو البكتيري يتلاشى ويصبح صفرا وكما مبين في الجدول (١).



شكل (٣) تاثير الشدد المغناطيسية وسرع التدوير المختلفة على نمو بكتريا *Staphylococcus aureus*

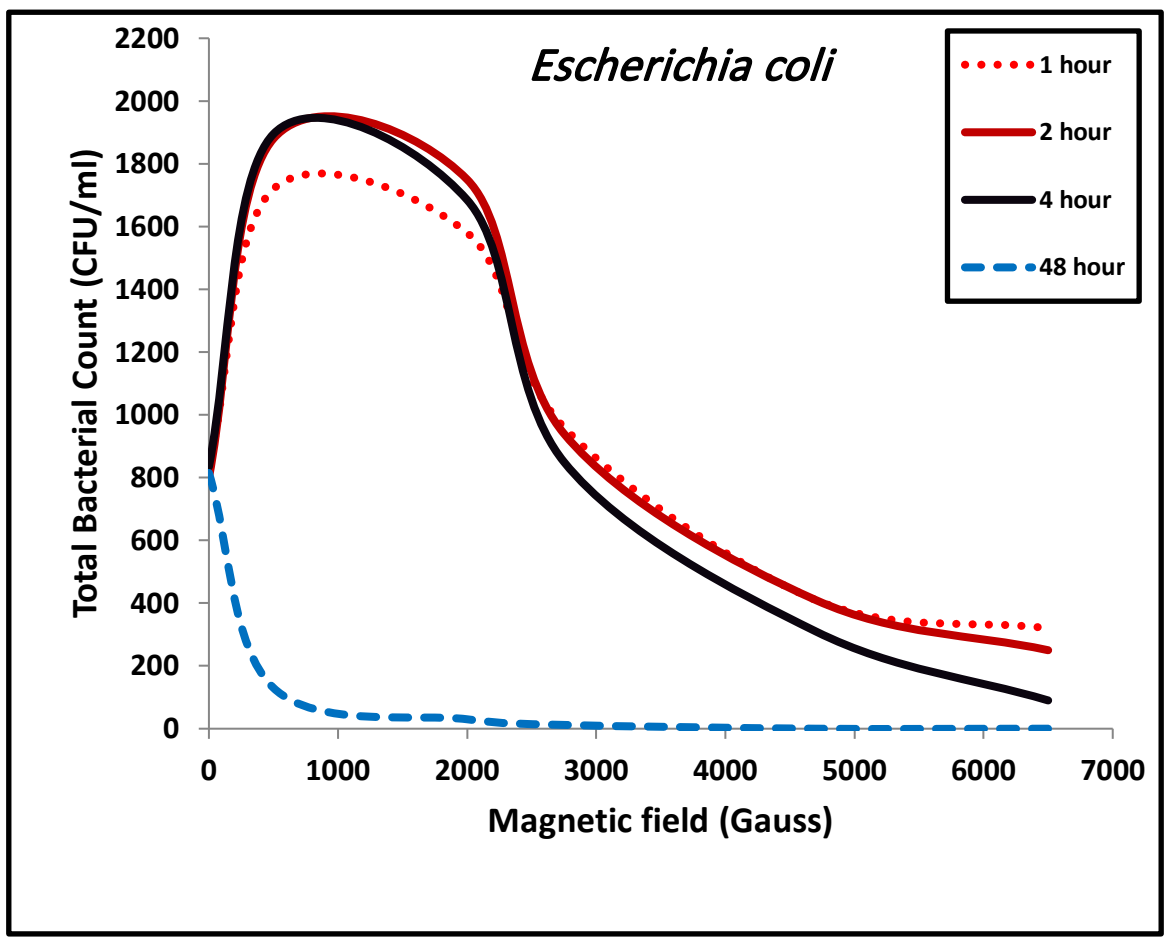
جدول(١) تاثير افضل شدة مغناطيسية مع عملية التدوير على بكتريا *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus	Time (hour)	Control	Magnetic Field (gauss)	Total Bacterial Count (CFU/ml)
	٤	756×10^5	٤٧٠٠	٨٩
	٤٨	774×10^5	٦٥٠٠	٠,٠
	Time (hour)	Control	(rpm+Magnetic Field)	**Total Bacterial Count (CFU/ml)**
	١	819×10^{10}	400 + 4700	٠,٠
	١	815×10^{10}	500 + 4700	٠,٠

تأثير المجال المغناطيسي على بكتريا *Escherichia coli*

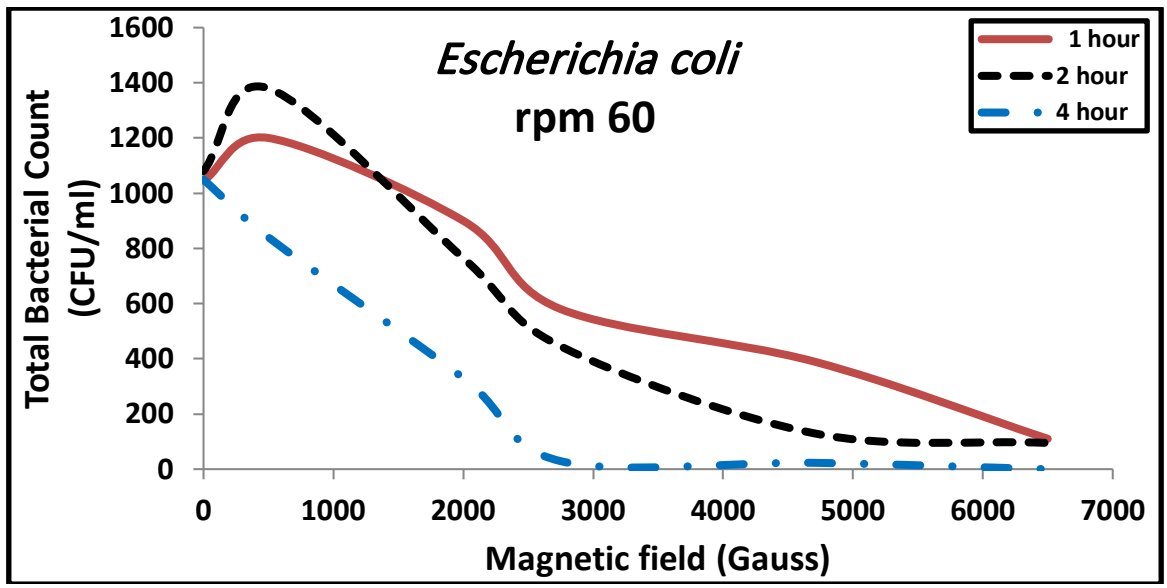
الاشكال ٤ و ٥ و ٦ تظهر سلوك ونمو بكتريا *Escherichia-Coli* تحت تاثير الشدد المغناطيسية وسرع التدوير و زمن استبقاء المختلفة, فالشكل (٤) يبين تاثير الشدد المغناطيسية مع الزمن, عند الشد 500 Gauss وعلى الفترات الزمنية المختلفة لوحظ ان النمو البكتيري تضاعف, وكذلك عند الشدد

المغناطيسية (٥٠٠, ٢٠٠٠ ,2750, 4700 و Gauss 6500). لكن عند الشدد(٢٠٠٠ ,2750, 4700 و Gauss 6500) يبدء النمو البكتيري بالانخفاض التدريجي ويتلاشى بحدود ٤٨ ساعة تحت تاثير الشدة المغناطيسية Gauss 6500.



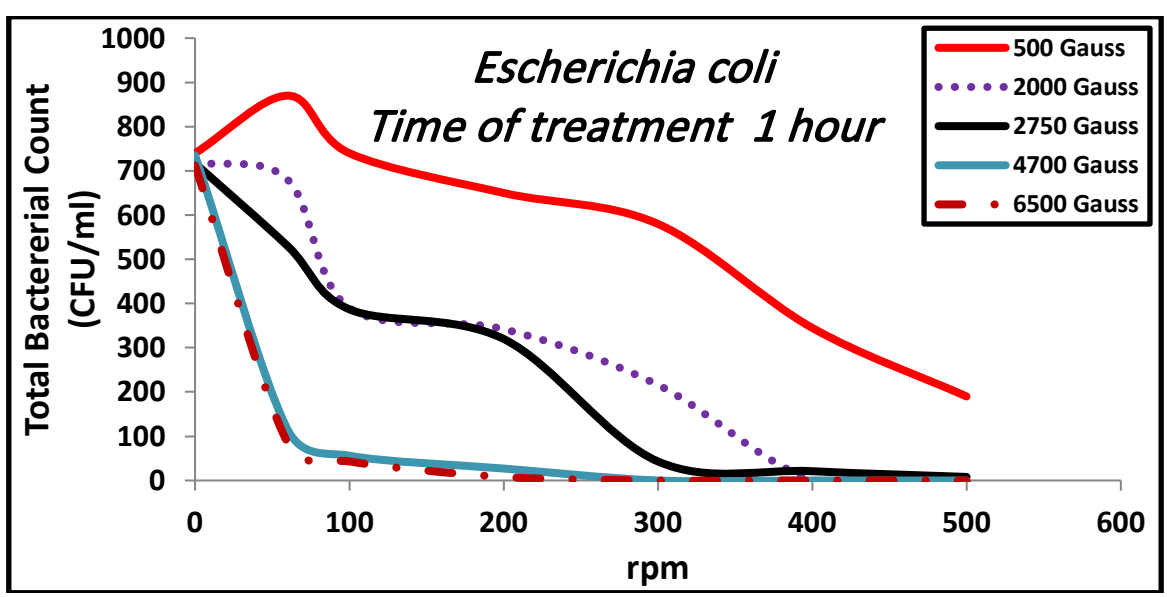
شكل (٤) تاثير الشدد المغناطيسية المختلفة على نمو بكتريا *Escherichia coli*

اما الشكل (٥) فأوضح ان تدوير النموذج بسرعة 60 rpm داخل مجالات مغناطيسية مختلفة له تاثير معنوي واضح, على الرغم من ان النمو البكتيري المتزايد عند الشدة المغناطيسية Gauss 500 لكنه يعتبر اقل قياس بتاثير المجال المغناطيسي دون عملية التدوير , اما في حالة استخدام Gauss 6500 نلاحظ تلاشي البكتريا بشكل نهائي خلال ٤ ساعات.



شكل (5) تاثير الشدد المغناطيسية المختلفة وسرعة التدوير على نمو بكتريا *Escherichia coli*

كذلك درست تاثيرات السرع المختلفة على النمو البكتيري المتزامن مع الشدد المغناطيسية المختلفة, فوجد ان النمو البكتيري يبدء بالانخفاض الواضح عند الشدتين المغناطيسيتين 6500, 4700 Gauss وبسرعة تدوير 60 rpm ويضمحل النمو تدريجيا مع زيادة السرعة الى ان يتلاشى النمو البكتيري ويضمحل نتيجة السرع العالية والشدد المغناطيسية القوية وكما مبين في الجدول (٢).



شكل (٦) تاثير الشدد المغناطيسية وسرع التدوير المختلفة على نمو بكتريا *Escherichia coli*

جدول (٢) تأثير افضل لشدة مغناطيسية مع عملية التدوير على بكتريا *E. coli*

Escherichia coli	**Time (hour)**	**Control**	**Magnetic Field (gauss)**	**Total Bacterial Count (CFU/ml)**
	٤	780×10^5	٤٧٠٠	٩٠
	٤٨	780×10^5	٦٥٠٠	٠٠٠
	Time (hour)	Control	(rpm+magnetic field)	**Total Bacterial Count (CFU/ml)**
	١	735×10^{10}	400 + 2000	٢
	١	712×10^{10}	500 + 2000	٠٠٠

من خلال النتائج اعلاه يتضح **ان** المجال المغناطيسي له القدرة على اختراق النسيج الحيوي للبكتريا. يبدو واضحا جدا ان المجال المغناطيسي له تاثير معنوي على الخلايا البكتيرية وكذلك على حياتيتها.

مناطق الاقطاب لمغناطيس قوي سوف تخلق جهد كهربائي عالي غير فسيولوجي في بيئة البكتريا. سيتغلب هذا الجهد على اي امكانيات موجودة في هذه الخلايا الصغيرة جدا, والتي سوف لن يكون لها قدرة التحكم في حركة الايونات عبر اغشيتها. تدفق الايونات عبر اغشية الخلايا يقترن بالعديد من العمليات الخلوية المهمة, تصبح الخلايا البكتيرية مريضه للغاية عندما تفقد القدرة على تنظيم التيارات الايونية من خلال القنوات البروتينية وخاصة عندما يكون تدفق البروتونات مضطرب. في هذه الحالة, يتم تدمير البروتونات بالانحدار الكهروكيميائي المساوي لقدرة التدمير لطردهم من الخلية. عندما يرتفع تركيز ايون الهيدروجين, بعد ذلك, لا يمكن للخلية اطلاق الايونات الى البيئة, ويتم خفض الاس الهيدروجيني pH الى مستوى لا يمكن تحمله (Lo, *et al*. 2023) وبالتالي تموت الخلايا.

الاستنتاجات و التوصيات

يعد استخدام تقانة المجال المغناطيسي للقضاء على البكتيريا عند معالجة المياه بطريقة فيزيائية بسيطة للغاية. يمكن استخدامها لكلا النوعين من جدار الخلية البكتيرية (موجبة الجرام وسالبة الجرام), كلا النوعين يتفاعلا مع المجال المغناطيسي باستجابة كبيرة. كذلك الاستجابة تزداد مع زيادة شدة المجال المغناطيسي وسرعة تدوير العينة والزمن. يعتبر تاثير المجال المغناطيسي مثبط لنمو البكتيريا, لذا يمكن استخدام هذه التقانة كطريقة تعقيم لبساطتها وفعاليتها. وفي ضوء ذلك نوصي باستخدام التقنية المغناطيسية كأحد التقنيات الحديثة في مجال البيئة لأنها ذات جدوى اقتصادية ولا تحتاج إلى أي نوع من المضافات الكيماوية والتي قد تكون مضرة بالبيئة وتشكل كلفة أضافية للمعالجة.

المصادر

Konopacki, M., and Rakoczy, R. (2019). The Analysis of Rotating Magnetic Field as a Trigger of Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria Growth. Biochemical Engineering Journal, 141, 259-267.

Kurniawan, S. B.; Abdullah, S. R. S.; Imron, M. F.; Said, N. S. M.; Ismail, N. I., andHasan, H. A. (2020). Challenges and Opportunities of Biocoagulant/Bioflocculant Application for Drinking Water and Wastewater Treatment and its Potential for Sludge Recovery. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(24), 9312.

Lai, H. (2019). Exposure to Static and Extremely-Low Frequency Electromagnetic Fields and Cellular Free Radicals. Electromagnetic Biology and Medicine, 38(4), 231-248.

Liu, X.; Wu, W.; Cui, D.; Chen, X., and Li, W. (2021). Functional Micro-/Nanomaterials for Multiplexed Biodetection. Advanced Materials, 33(30), 2004734.

Lo, W.-C.; Krasnopeeva, E., and Pilizota, T. (2023). "Bacterial Electrophysiology." Annual Review of Biophysics, 53, 487-510.

Manoj, K. M.; Bazhin, N., and Tamagawa, H. (2022). The Murburn Precepts for Cellular Ionic Homeostasis and Electrophysiology. Journal of Cellular Physiology, 237(1), 804-814.

Masood, S. (2017). Effect of Weak Magnetic Field on Bacterial Growth. Biophysical Reviews and Letters, 12(04), 177-186.

Al Tbeishat, H. (2022). Novel in Silico mRNA Vaccine Design Exploiting Proteins of M. Tuberculosis that Modulates Host Immune Responses by Inducing Epigenetic Modifications. Scientific Reports, 12(1), 1-19.

Do, K. G. (2018). Towards a Mechanism of Action of a Weak Magnetic Field on Bacterial Growth.

Dufrêne, Y. F., and Persat, A. (2020). Mechanomicrobiology: How Bacteria Sense and Respond to Forces. Nature Reviews Microbiology, 18(4), 227-240.

Gallo, M.; Ferrara, L.; Calogero, A.; Montesano, D., and Naviglio, D. (2020). Relationships Between Food and Diseases: what to know to Ensure Food Safety. Food Research International, 137, 109414.

Ghassemi, N.; Poulhazan, A.; Deligey, F.; Mentink-Vigier, F.; Marcotte, I., and Wang, T. (2021). Solid-State NMR Investigations of Extracellular Matrixes and Cell Walls of Algae, Bacteria, Fungi, and Plants. Chemical Reviews.

Gu, Y.-J., and Murakami, M. (2021). Magnetic Feld Amplification Driven by the Gyro Motion of Charged Particles. Scientific Reports, 11(1), 1-12.

Guo, L., Azam, S. R.; Guo, Y.; Liu, D., and Ma, H. (2021). Germicidal efficacy of the Pulsed Magnetic Field Against Pathogens and Spoilage Microorganisms Food Processing: An Overview. Food Control, 108496.

Jiancun, G.; Xigang, Y.; Shoutao, H.; Le, W.; Zijin, H., and Xu, S. (2022). Effects of Magnetic Fields on Combustion and Explosion. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 1-12.

Muras, V.; Toulouse, C.; Fritz, G., and Steuber, J. (2019). Respiratory Membrane Protein Complexes Convert Chemical energy. Bacterial Cell Walls and Membranes, 301-335.

Radhakrishnan, R. (2019). Magnetic Field Regulates Plant Functions, Growth and Enhances Tolerance Against Environmental Stresses. Physiology and Molecular Biology of Plants, 25(5), 1107-1119.

Ross, C. L. (2017). The Use of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Field for Directed Cell Migration and Adhesion in Regenerative Medicine. Biotechnology Progress, 33(1), 5-16.