جامعة الزاوية
UNIVERSITY OF ZAWIA

إدارة الدراسات العليا والتدريب

كليـــــــة الـــعلـــــــوم

قســـــــم الفيـزياء

دراسة مقدمة استكمالاً لمتطلبات الإجازة العالية الماجستير في الفيزياء

دراسة تـأثير ا لمجال المغنـاطيسي على معدل التبخر للماء بمنطقة الزاوية

Study of the effect of magnetic field on the rate of water evaporation in the Zawiya region

إعداد الطالبة: أميرة محمد ميلاد

إشراف: د. زهرة جبريل

2025م

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

﴿ يَرْفَعِ ٱللَّهُ ٱلذِينَ ءَامَنُواْ مِنكُمْ وَالذِينَ ٱُوتُواْ ٱلْعِلْمَ دَرَجَٰتٍۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴾

صدق الله العظيم

سورة المجادلة، الآية: 11.

الإهـداء

بسم الله الرحمن الرحيم

فإني أجد نفسي اليوم واقفةً على عتبة الحياة أتأمل مسيرتي العلمية، وأستذكر من كانوا نوراً يضيء دربي وشموساً تنير طريقي.

إلى مَن علّمتني أن الحياة دروس، وأن العِلم نور يُضيء ظُلمات الجهل، إلى التي حملتني في أحشائها قبل أن أحمل هموم العِلم في فكري...

إلى والدتي – شفاها الله – منبع الحنان الذي لا ينضب، والدعاء الذي يرافقني في كل خطوة.

إلى مَن غرس في نفسي بذور الطموح، وعلّمني أن الرجولة مسؤولية قبل أن تكون كلمة، إلى الذي رأيت في عينيه فخراً بي قبل أن أُحقق شيئاً يُذكر...

إلى والدي – شفاه الله – منارة العقل والحكمة في بيتنا.

إلى رفيق الدرب، الذي شاركتني أعباء هذه الرحلة الطويلة بصبر الحكماء وحب الأوفياء، إلى مَن كان سنداً عندما تزاحمت الهموم، وفرحاً عندما أشرق الأمل...

إلى زوجي الغالي – شريك الحياة والأحلام.

إلى براعم الفؤاد وثمرات القلب، إلى أنس وطه وياسين – فلذات الكبد، الذين أرى فيهم امتداد الآمال ووعد الغد المشرق.

إلى زهرات البيت وأنوار الحياة...

إلى ريماس وريما وراسيل – بناتي الغاليات، اللواتي يُضفين على الدنيا جمالاً وعلى القلب سكينة.

إلى روح طاهرة صعدت إلى بارئها، تاركة في قلوبنا ذكريات كالعِطر الفوّاح، إلى منير نصرات – والد زوجي رحمه الله – الذي كان مثالاً للكرم والنُبل.

إلى مَن شاركوني الطفولة والصبا، ولا زالوا يشاركونني أفراح الحياة وأتراحها، إلى إخوتي وأخواتي – روابط الدم التي لا تنقطع، وصلات المودة التي لا تذبل.

إليكم جميعاً... أُهدي هذا الجهد المتواضع، راجياً أن يكون خطوة في طريق العِلم الطويل، ونبراساً يُضيء لمن يأتي بعدي دروب المعرفة.

فما هذا العمل إلا قطرة في بحر عطائكم، وما هذا النجاح إلا ثمرة من ثمار حبكم ودعواتكم.

"وإن العِلم لا يُدرك بالتمني، ولكن بالجد والاجتهاد، وبالصبر على طول الطريق".

الشكر والتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

إنّ من أوجب الواجبات على الإنسان أن يُقرّ بالفضل لأهله، وأن يشكر من أسدى إليه معروفاً أو أرشده إلى طريق الصواب. وإنني لأجد نفسي اليوم أمام دَين عظيم من الشكر والعرفان.

إلى الأستاذة المشرفة **الدكتورة زهرة جبريل**، التي كانت لي بمثابة المنارة في ظلمات البحث، والدليل الأمين في متاهات الدراسة. لقد كان لها من الصبر على أخطائي، والحكمة في توجيهي، ما جعلني أُدرك معنى الأستاذية الحقّة. فما كانت مجرد مشرفة أكاديمية، بل كانت معلّمة تُضيء الطريق وتُرشد إلى الحق بلا كلل أو ملل.

كما أتوجه بجزيل الشكر إلى **أعضاء لجنة المناقشة الموقرة**، الذين كانت ملاحظاتهم القيّمة وتوجيهاتهم السديدة بمثابة المشاعل التي أضاءت جوانب لم أكن أراها. إنهم لم يكونوا مجرد محكّمين للبحث، بل كانوا أساتذة حقيقيين يُرشدون إلى طريق الكمال.

وإلى **الدكتور إبراهيم عياد**، منسق الدراسات العليا بالقسم، الذي كان نِعم المرشد والناصح، وكان دائماً مستعداً لتذليل العقبات وحل المشكلات التي تعترض طريق الطلاب.

كما أشكر **الدكتور محسن الدخلي**، الذي لم يبخل علينا بنصائحه القيّمة وتوجيهاته المفيدة، وكان علمه وخبرته نبراساً ينير لنا دروب المعرفة.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر إلى **إدارة مكتب الدراسات العليا بالجامعة**، التي سهّلت لنا كل الإجراءات وذلّلت العقبات الإدارية، وتعاملت معنا بروح التعاون والتفهّم.

إن هؤلاء جميعاً كانوا لي بمثابة النجوم التي تهتدي بها السفن في ظلمات البحر، وإنني لأعترف أن ما في هذا البحث من صواب فهو بفضل توجيهاتهم وإرشاداتهم، وما فيه من خطأ فهو من نقصي وتقصيري.

فاللهم اجعل هذا العمل في ميزان حسناتهم، وبارك في علمهم وعملهم، وجزاهم عنا وعن طلاب العلم خير الجزاء.

إنما الأمم الأخلاق ما بقيت، فإن هُمُ ذهبت أخلاقهم ذهبوا

الملخص

هدفت هذه الدراسة التي أجريت عام **2024** في مدينة الزاوية بليبيا الى تقييم تأثير المجال المغناطيسي على معدل تبخر مياه الآبار، كانت الأهداف الأساسية لهذه الدراسة هي تقييم تأثير تعريض الماء للمجال المغناطيسي على معدل تبخر أربع عينات مختلفة من مياه الآبار تم جمعها من مواقع وأعماق مختلفة داخل مدينة الزاوية. بالإضافة إلى ذلك، سعت الدراسة إلى تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية المختلفة للماء التي قد تتأثر بالمجال المغناطيسي وربط هذه التغيرات بمعدلات التبخر الملاحظة. تم اتباع منهجية تجريبية، حيث تم تعريض عينات الماء لمجال مغناطيسي ساكن بقوة **15,000** جاوس باستخدام جهاز Magnetron، تم قياس الخصائص الفيزيائية (الحجم والكتلة ودرجة الحرارة) والكيميائية (الرقم الهيدروجيني، التوصيل الكهربائي، الأملاح الذائبة الكلية، وتراكيز أيونات الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم) لكل عينة قبل المعالجة المغناطيسية وفي فترات زمنية مختلفة (تتراوح من دقائق إلى ساعات) بعد التعرض للمجال، استخدمت أجهزة مخبرية قياسية مثل جهاز Multiline p4 ومقياس مطياف اللهب لجمع البيانات، ثم تم تحليل البيانات المجمعة لتحديد التغيرات والاتجاهات الهامة، أظهرت النتائج أن المعالجة المغناطيسية تؤثر بشكل كبير على معدل تبخر مياه الآبار، على الرغم من أن التأثير الملاحظ يختلف اعتماداً على مصدر البئر المحدد، ومدة التعرض للمجال المغناطيسي، والوقت المنقضى بعد المعالجة، لوحظت أنماط تبخر معقدة، بما في ذلك زيادات أولية في معدل التبخر بعد المعالجة بوقت قصير لبعض العينات، تبعتها فترات انخفاض أو استقرار على المدى الطويل، والجدير بالذكر أن إحدى العينات (الركينة، عمق **40**م) أظهرت مقاومة محسنة للتبخر بعد **24** ساعة مقارنة بالعينة غير المعالجة، وجدت الدراسة أيضاً تغيرات في عدد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء، مثل التقلبات في درجة الحرارة ومعدلات فقد الوزن/الحجم وبعض تراكيز الأيونات، مما يشير إلى أن المجال المغناطيسي يؤثر على التركيب والخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء، مما يؤثر لاحقاً على سلوك تبخر الماء، الأنماط المعقدة الملاحظة، بما في ذلك تأثير محتمل لـ "ذاكرة المغنطة" حيث يستمر التأثير أو يتغير بمرور الوقت، تؤكد على ضرورة إجراء دراسات مفصلة حول التوقيت الأمثل لتطبيق الماء المعالج بعد مغنطته، بناءً

على هذه النتائج، توصي الدراسة باستكشاف التقنيات العملية لمعالجة المياه المغناطيسية لترشيد استهلاك المياه في الزراعة والصناعة. كما تدعو الى اجراء أبحاث مستقبلية موسعة لوضع أنظمة عمل موحدة في فهم الأليات الأساسية لأجراء تجارب أكثر تفصيلاً على نطاق أوسع من أنواع المياه ومعايير المجال المغناطيسي، وتطوير أنظمة عمل موحدة لتطبيق معالجة المياه المغناطيسية، والمزيد من التحقيق في الآليات الأساسية الكامنة وراء هذه التأثيرات و"ذاكرة المغنطة" الملاحظة، بهدف تعظيم الفوائد لإدارة مستدامة للموارد المائية، لا سيما في المناطق التي تعاني من تحديات شح المياه.

فهرس المحتويات

م	الموضوع	الصفحة
	الآية القرآنية	أ
	الإهــداء	ب
	الشكر والتقدير.....	ج
	الملخص	د
	فهرس المحتويات	و
	قائمة الجداول	ي
	قائمة الأشكال	م
1	**الفصل الأول: المقدمة (Introduction)**	
1.1	مقدمة الدراسة	**2**
2.1	إشكالية الدراسة	**4**
3.1	أهداف الدراسة	**4**
4.1	أهمية الدراسة	**5**
5.1	الدراسات السابقة	**5**
1.5.1	تأثير المجال المغناطيسي على خصائص الماء	**5**
2.5.1	تأثير المجال المغناطيسي على عملية التبخر	**7**
3.5.1	تأثير المجال المغناطيسي على سلوك الماء وتطبيقاته	**9**
6.1	الخلاصة	**10**
1	**الفصل الثاني: المراجعة النظرية (Theoretical framework)**	
1.2	المجالات المغناطيسية	**12**
1.1.2	مفهوم المجال المغناطيسي	**12**
2.1.2	شدة المجال المغناطيسي	**14**
3.1.2	أنواع المجالات المغناطيسية	**14**
4.1.2	خصائص المجالات المغناطيسية	**15**

م	الموضوع	الصفحة
2.2	القوة المغناطيسية والتيار الكهربائي (قوة لورنتز)	17
3.2	تأثير المجال المغناطيسي على الماء	20
1.3.2	التأثير على سطح الماء	20
2.3.2	التأثير في هيكل الماء	21
3.3.2	التأثير في نقل الحرارة	23
4.2	النظريات الفيزيائية ذات الصلة بالتبخر والمجال المغناطيسي	24
1.4.2	قانون نيوتن للتبريد	24
2.4.2	معادلة كلاوزيوس–كلابيرون وتأثير المجال المغناطيسي على نقطة الغليان..	26
3.4.2	تطبيقات المجالات المغناطيسية في معالجة الماء	27
5.2	عملية التبخر	29
1.5.2	العوامل المؤثرة على معدل التبخر	30
2.5.2	أهمية دراسة معدلات التبخر	33
3.5.2	طرق قياس معدل التبخر	34
6.2	مياه الآبار	35
1.6.2	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار	36
2.6.2	التحديات المرتبطة بإدارة مياه الآبار	38
7.2	تأثير المجال المغناطيسي في خصائص الماء	39
1.7.2	آلية تأثير المجال المغناطيسي في جزيئات الماء	41
2.7.2	التغيرات في الخصائص الفيزيائية للماء تحت تأثير المجال المغناطيسي ...	42
3.7.2	التغيرات في الخصائص الكيميائية للماء تحت تأثير المجال المغناطيسي	43
8.2	العلاقة بين المجال المغناطيسي ومعدل التبخر	44
1.8.2	تأثير المجال المغناطيسي في معدل التبخر	44
2.8.2	العوامل المؤثرة في فعالية المجال المغناطيسي في تغيير معدل التبخر	45
3.8.2	تطبيقات استخدام المجال المغناطيسي في إدارة المياه	46

م	الموضوع	الصفحة
9.2	تقنيات معالجة المياه باستخدام المجالات المغناطيسية	48
1.9.2	آلية عمل التقنيات المغناطيسية	49
2.9.2	فوائد استخدام المجالات المغناطيسية في إدارة موارد المياه	49
3.9.2	التحديات والقيود في استخدام المجالات المغناطيسية لمعالجة المياه	50
10.2	ملخص	51
3	**الفصل الثالث: المواد والطرق (Materials and Methods)**	
1.3	جمع العينات	53
2.3	دراسة الخصائص الكيميائية للعينات	55
3.3	قياس عملية التبخر	59
4.3	ملخص	59
	الفصل الرابع: النتائج (Results)	
1.4	عرض نتائج اختبار العينات	61
1.1.4	نتائج العينة الأولى (منطقة بئر معمر – عمق 90م)	61
1.1.1.4	العينة رقم (1) قبل المغنطة	61
2.1.1.4	العينة رقم (1) بعد المغنطة	62
2.1.4	نتائج العينة الثانية (منطقة جود دائم – عمق 90م)	75
1.2.1.4	العينة رقم (2) قبل المغنطة	75
2.2.1.4	العينة رقم (2) بعد المغنطة	76
3.1.4	نتائج العينة الثالثة (منطقة البرناوي – عمق 120م)	89
1.3.1.4	العينة رقم (3) قبل المغنطة	89
2.3.1.4	العينة رقم (3) بعد المغنطة	90
4.1.4	نتائج العينة الرابعة (منطقة الركينة – عمق 40م)	105
1.4.1.4	العينة رقم (4) قبل المغنطة	105
2.4.1.4	العينة رقم (4) بعد المغنطة	106

م	الموضوع	الصفحة
	الفصل الخامس: المناقشة (Discussion)	
1.5	مناقشة النتائج الرئيسية للدراسة	**120**
2.5	التوصيات	**129**
3.5	المقترحات	**130**
4.5	الخاتمة (Conclusion)	**130**
5.5	المصادر والمراجع	**132**
6.5	الملخص باللغة الانجليزية	**147**

قائمة الجداول

الجدول	الصفحة
جدول (**3**–**1**): (pH - PPT - T –TDS– EC)	**57**
جدول (**4**–**1**) بيانات العينة (**1**) (v=40ml, T=29.5c, m=58.4g) قبل المغنطة	**61**
جدول (**4**–**2**) يبين خصائص العينة **1** (v=40ml, T=29.5C, m=58.4g) بعد مدة min **30** من المغنطة	**62**
جدول (**4**–**3**) يبين خصائص العينة **1** ($m=55.7g, v= 40ml, T=29.4c^0$) بعد min **60** من المغنطة	**63**
جدول (**4**–**4**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور min **90** من المغنطة ($T=29.6c^0$, m=55.8g, v=40ml)	**64**
جدول(**4**–**5**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور 3h من المغنطة (v=40ml, $T=29.5c^0$, m=58.4g)	**66**
جدول (**4**–**6**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور h **6** من المغنطة (m=57.3g, v=40ml, $T=28.2c^0$)	**67**
جدول (**4**–**7**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور 9h من المغنطة (m=57.6g, $T=28.4c^0$, V=40ml)	**68**
جدول (**4**–**8**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور h **12** من المغنطة (m=56.3g, $T=29.6C^0$, v=40ml)	**70**
جدول (**4**–**9**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور h **24** من المغنطة (m=58.3g, $T=27.6C^0$, V=40ml)	**71**
جدول(**4**–**10**) بيانات العينة رقم (**1**) بعد مرور h **48** من المغنطة (m=58.9g, $T=28.5C^0$, V=4Oml)	**72**
جدول(**4**–**11**) بيانات العينة رقم (**2**) قبل المغنطة ($T=21.6c^0$, v=40ml, m=57.3g)	**75**
جدول(**4**–**12**) بيانات العينة رقم (**2**) بعد مرور min **30** من المغنطة (m=55.5g, v=40ml, $T=23.9C^0$)	**76**
جدول (**4**–**13**) بيانات العينة رقم (**2**) بعد مرور min **60** من المغنطة (m=55.2g, v=40ml, $T=24.6C^0$)	**77**
جدول (**4**–**14**) بيانات العينة رقم (**2**) بعد مرور min **90** من المغنطة (m=56.3g, $T=24.1C^0$, v=40ml)	**78**

الجدول	الصفحة
جدول (4–15) بيانات العينة رقم (2) بعد مـــرور 3h مـــن المغنطـــة (m=56.7g, T=20.1c^0, v=40ml)	80
جدول (4–16) بيانات العينة رقم (2) بعد مـــرور 6h مـــن المغنطـــة (m=56.7g, T=22c^0, v=40ml)	81
جدول (4–17) بيانات العينة رقم (2) بعـــد مـــرور9h مـــن المغنطـــة (m=58.1g, v=40ml, T=22.1c^0)	82
جدول (4–18) بيانات العينة رقم (2) بعـــد مـــرور **12** h مـــن المغنطـــة (m=57g, T=21.5C^0, v=40ml)	84
جدول (4–19) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور **24** h مـــن المغنطـــة (m=60.1g, v=40ml, T=19.5C^0)	85
جدول (4–20) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور **48** h مـــن المغنطـــة (m=56.2g, T=20C^0, v=40ml)	86
جدول (4–21) بيانـــات العينـــة رقـــم (3) قبـــل المغنطـــة (v=40ml, T=28.8c^0, m=56.2g)	89
جدول (4–22) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور **30** min من المجال المغناطيســـي (m=55.7g, v= 40ml, T=29.4C^0)	90
جدول (4–23) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور **60** min من المغنطـــة (V=40ml, m=56.7g, T=29.6C^0)	91
جدول(4–24) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور **90** min من المغنطة (T=29.2C^0, m=57g, v=40ml)	93
جدول(4–25) بيانات العينة رقم (3) بعـــد مـــرور **3** h مـــن المغنطـــة (v=40ml, T=28c^0, m=57.6g)	94
جدول (4–26) بيانات العينة رقم (3) بعد مـــرور **6** h مـــن المغنطـــة (m=57.6g, v=40ml, T=28.1c^0)	96
جدول(4–27) بيانات العينة رقم (3) بعد مـــرور **9** h مـــن المغنطـــة (m=58.9g, T=27.9c^0, V=40ml)	98
جدول (4–28)بيانات العينـــة رقـــم (3) بعـــد **12** h مـــن المغنطـــة (m=56.0g, T=28.2c^0, v=40ml)	99
جدول (4–29) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور **24** h مـــن المغنطـــة (m=57.6g, T=28.0c^0, V=40ml)	101

الصفحة	الجدول
102	جدول(4–30) بيانات العينة رقم (3) بعد مــرورh 48 مــن المغنطــة (m=57.6g, T=28.7c^0, V=4Oml)
105	جدول(4–31) بيانــات العينــة رقــم (4) قبــل المغنطــة (v=40ml, T=19.9c^0, m=57.3g)
106	جدول (4–32) بيانات العينة رقم (4) بعدmin 30 من المغنطــة (m=56.6g, v= 40ml, T=28.6C^0) بقوة G 15,000
107	جدول (4–33) بيانات العينة رقــم (4) بعــدmin 60 مــن المغنطــة (V=40ml, m=56.8g, T=27.6c^0)
109	جدول (4–34) بيانات العينة رقــم (4) بعــدmin 90 مــن المغنطــة (T=27.7c^0, m=55.6g, v=40ml)
110	جدول(4–35) بيانات العينة رقم (4) بعــد مــرورh 3 مــن المغنطــة (v=40ml, T=28c^0, m=58g)
111	جدول(4–36) بيانات العينة رقم (4) بعــد مــرورh 6 مــن المغنطــة (m=58.6g, v=40ml, T=26.1C^0)
112	جدول (4–37) بيانات العينة رقم (4) بعد 9h من المغنطة (m=57.2g, T=26.1C^0, V=40ml)
113	جدول(4–38) بيانات العينة رقم (4) بعد مــرورh 12 مــن المغنطــة (m=58.6g, T=25.9C^0, v=40ml)
114	جدول (4–39)بيانات العينة رقم(4) بعد مــرورh 24 مــن المغنطــة (m=57.3g, T=28.1C^0, V=40ml)
115	جدول (4–40) بيانات العينة رقم (4) بعد مرورh 48 مــن المغنطــة (m=57.3g, T=28.1c^0, V=4Oml)

قائمة الأشكال

الشكل	الصفحة
الشكل (2–1) خطوط المجال المغناطيسي.....	16
الشكل (2–2) قوة لورانس "قاعدة اليد اليمنى	19
الشكل (2–3) يوضح قوة لورنتز المؤثرة على جسيم ذي شحنة موجبة تتحرك بسرعة V (يسار).....	19
الشكل (2–4) استقطاب الروابط الهيدروجينية للماء بفعل المجال المغناطيسي.....	22
الشكل (2–5) قوة المجال المغناطيسي مقابل قوة تماسك الماء.....	22
الشكل (2–6) درجة الحرارة مقابل معدل تبخر الماء	24
الشكل (3–1) موقع البئر (1) منطقة "بئر معمر"، عمق البئر (90 متر).....	53
الشكل (3–2) موقع البئر (2) في منطقة "جود دائم"، عمق البئر (90 متر).....	53
الشكل (3–3) موقع البئر (3) في منطقة البرناوي، عمق البئر (120 متر)	54
الشكل(3–4) البئر(4) في الزاوية المركز "منطقة الركينة"، عمق البئر(40متر).....	54
الشكل (3–5) عينات الماء قبل المغنطة.....	54
الشكل (3–6) يوضح جهاز Multiline p4	55
الشكل (3–7) جهاز مطياف اللهب.....	56
الشكل (3–8) جهاز المجال المغناطيسي (Magnetron).....	58
الشكل (3–9) الجهاز المستخدم في المغنطة	58
الشكل (4–1) خصائص العينة1 قبل المغنطة	61
الشكل (4–2) التأثير المغناطيسي بعد 30 دقيقة بقوة 15,000 جاوس.....	62
الشكل (4–3) التأثير المغناطيسي بعد 60 دقيقة بقوة 15,000 جاوس.....	63
الشكل (4–4) التأثير المغناطيسي بعد 90 دقيقة بقوة 15,000 جاوس.....	65
الشكل (4–5) التأثير المغناطيسي بعد 3 ساعات بقوة 15,000 جاوس.....	66
الشكل (4–6) التأثير المغناطيسي بعد 6 ساعات بقوة 15,000 جاوس.....	67
الشكل (4–7) التأثير المغناطيسي بعد 9 ساعات بقوة 15,000 جاوس.....	69

الشكل	الصفحة
الشكل (4–8) التأثير المغناطيسي بعد 12 ساعة بقوة 15,000 جاوس.....	70
الشكل (4–9) التأثير المغناطيسي بعد 24 ساعة بقوة 15,000 جاوس.....	71
الشكل (4–10) التأثير المغناطيسي بعد 48 ساعة بقوة 15,000 جاوس.....	72
الشكل (4–11) التذبذب في معدل التبخر بعد المعالجة المغناطيسية على مدى 48 h...	74
الشكل (4–12) خصائص العينة 2 قبل المغنطة.....	75
الشكل (4–13) خصائص العينة 2 بعد مرور 30 دقيقة من المجال مغناطيسي.....	76
الشكل (4–14) خصائص العينة 2 بعد مرور 60 دقيقة من المجال مغناطيسي.....	77
الشكل (4–15) يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 90 دقيقة من المجال مغناطيسي	79
الشكل (4–16) يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 3 ساعات من المجال مغناطيسي	80
الشكل (4–17) خصائص العينة 2 بعد مرور 6 ساعات من المجال مغناطيسي.....	81
الشكل (4–18) خصائص العينة 2 بعد مرور 9 ساعات من المجال مغناطيسي.....	83
الشكل (4–19) خصائص العينة 2 بعد مرور 12 ساعة من المجال مغناطيسي.....	84
الشكل (4–20) خصائص العينة 2 بعد مرور 24 ساعة من المجال مغناطيسي.....	85
الشكل (4–21) خصائص العينة 2 بعد مرور 48 ساعة من المجال مغناطيسي.....	86
الشكل (4–22) خصائص العينة 3 قبل المغنطة.....	89
الشكل (4–23) خصائص العينة 3 بعد مرور 30 دقيقة من المجال المغناطيسي.....	90
الشكل (4–24) خصائص العينة 3 بعد مرور 60 دقيقة من المجال المغناطيسي.....	92
الشكل (4–25) خصائص العينة 3 بعد مرور 90 دقيقة من المجال المغناطيسي.....	93
الشكل (4–26) خصائص العينة 3 بعد مرور 3 ساعات من المغنطة.....	95
الشكل (4–27) خصائص العينة (3) بعد مرور 6 ساعات من المغنطة.....	96
الشكل (4–28) خصائص العينة رقم (3) بعد 9 ساعات من المغنطة.....	98
الشكل (4–29) خصائص العينة رقم (3) بعد 12 ساعة من المغنطة.....	99
الشكل (4–30) خصائص العينة رقم (3) بعد مرور 24 ساعة من المغنطة.....	101
الشكل (4–31) خصائص العينة رقم (3) بعد مرور 48 ساعة من المغنطة.....	102

الشكل	الصفحة
الشكل (4–32) خصائص العينة رقم (4) قبل المغنطة	105
الشكل (4–33) خصائص العينة رقم (4) بعد 30 دقيقة من المغنطة	106
الشكل (4–34) خصائص العينة رقم (4) بعد 60 دقيقة من المغنطة	108
الشكل (4–35) خصائص العينة رقم (4) بعد 90 دقيقة من المغنطة	109
الشكل (4–36) خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 3 ساعات من المغنطة.....	110
الشكل (4–37) خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 6 ساعات من المغنطة.....	111
الشكل (4–38) خصائص العينة رقم (4) بعد 9 ساعات من المغنطة.....	112
الشكل (4–39) خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 12 ساعة من المغنطة.....	113
الشكل (4–40) خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 24 ساعة من المغنطة.....	114
الشكل (4–41) خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 48 ساعة من المغنطة.....	116

الفصل الأول

المقدمة (Introduction)

1.1. مقدمة الدراســة.

2.1. إشكالية الدراســة.

3.1. أهميــة الدراســة.

4.1. أهداف الدراســة.

5.1. الدراسات السابقة.

6.1. الخلاصـــــــــة.

1.1. مقدمة الدراسة:

إن قضية الماء كانت ومازالت مصدر اهتمام الباحثين والعلماء وذلك لما للماء من أهمية كبيرة في حياتنا، والماء المغناطيسي فكرة بنيت على أساس علمي وبدأت تغزو العديد من دول العالم، حيث تعد الطاقة المغناطيسية أحد أنواع الطاقة في الكون، وأن الأرض محاطة بمجال مغناطيسي يؤثر بدرجات متفاوتة وينخفض في الشدة، وأظهر العلماء أنه خلال الألف سنة الماضية فقدت الأرض ما يقرب من **50%** من قوتها المغناطيسية، وهذه الطاقة مهمة جدا لحياة الكائنات الحية الموجودة على الأرض، كما أنها تلعب دورا في الوظائف الحيوية لجميع الكائنات الحية. كما أن تطور العلوم المغناطيسية مشيرة إلى أن الخصائص المغناطيسية ليست فقط حديد ومنغنيز، بل هي خاصية مرتبطة بجميع المواد الصلبة والسائلة والغازية.

تعد أهمية الماء في حياتنا مصيرية وحيوية كونها أيضا تشكل ما نسبته **70%** من مكونات أجسامنا، عدا عن مقدرتها بتزويدنا بعضويات مهمة، ولها دور كبير في الحفاظ على سلامة الصحة، ومحاربة الأمراض، وكل هذا ممكن يشترط توافر الماء ذي الجودة والمحتوى الجيد. ولعل أبرز طرق جعل الماء ذا قيمة صحية للبشرية هو مغنطته، فالماء الممغنط هو الماء الذي يمر عبر مجال مغناطيسي (MF)، وعندما يمر الماء عبر MF، فإنه يصبح ماء ممغنط (MW)، وللمياه الممغنطة العديد من التطبيقات في مجالات العلوم المختلفة، وفي الصناعة والزراعة وخاصة في التكنولوجيا الخضراء (Amiri & Dadkhah, 2006) أيضًا يعد الماء الممغنط (MW) منخفض السعر لأن تكلفة تركيبه قليلة وبالتالي لا توجد ضرورات لاستهلاك الطاقة كما أنها مياه صديقة للبيئة.

الماء مركب بسيط لكنه معقد في فهم خواصه، وهو جزيء قطبي في ترتيبه على شكل حرف V وهو من ثنائيات الأقطاب فالماء مكون من ذرتي هيدروجين وذرة أوكسجين، وجزيئاته ترتبط ببعضها بروابط هيدروجينية، وقد تكون هذه الروابط ثنائية أو متعددة الروابط وعند وضع جزيئات الماء داخل مجال مغناطيسي فإن الروابط الهيدروجينية بين الجزيئات إما أن تتغير أو تتفكك وهذا التفكك يعمل على امتصاص الطاقة ويقلل من مستوى اتحاد جزيئات الماء ويزيد من قابلية التحليل الكهربائي ويؤثر في تحلل البلورات، ووجد أن المجال المغناطيسي قدره **1000** وحدة مغناطيسية تزيد سعة امتصاصه للأيونات بالتبادل بحوالي **8%**

بينما قدرة **3000** وحدة تزيد النسبة إلى ما يتراوح بين **19** إلى **26%** (Farzadniya,2017)، لذا من الممكن إنتاج العديد من التأثيرات الإيجابية فيما لو تم تعريض الماء لمجال مغناطيسي بشدة معينة، ومن ثم التأثير في خواص هذا الماء واعتباره ماء ممغنطاً أو ماء مغناطيسياً كما هو معروف حالياً، ومن هنا بدأت سلسلة الأبحاث المتنوعة التي اختبرت الفوائد العلاجية والتصنيعية للماء المغناطيسي، لأنه عندما يمر الماء عبر مجال مغناطيسي بكثافات مختلفة وفترات زمنية فإن خصائصه الفيزيائية والكيميائية تتغير، إذ يمكن للمغنطة أن تؤثر في القوتين اللتين تتحكمان في بنية الماء، والرابطة الهيدروجينية الكيميائية وقوى فان ديرفال، حيث يمكن للمغنطة أن تكسر بنيتها وتقلل من زاوية الارتباط وتزيد من قابلية الذوبان (Pang & Shen, 2013)، لقد لوحظ في العديد من الدراسات أن المجال المغناطيسي يغير حجم التجمعات المائية والتي بدورها تغير الخصائص الفيزيائية للماء (Mane *et al*., 2015)، كما تؤدي زيادة شدة المجال المغناطيسي إلى انخفاض التوتر السطحي لعينات المياه المختبرة، مما يقلل من الارتفاع الشعري للماء، فقد ذكرت العديد من الدراسات البحثية أن المجال المغناطيسي (MF) يمكن أن يغير من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء (الحكيم، **2023**)، وعندما يمر الماء عبر MF يصبح ممغنطا، ففي السنوات الأخيرة تطورت الابحاث في فحص الخصائص البصرية للماء بين مغناطيسيين قويين، فلوحظ تغير خاصية امتصاص الأشعة تحت الحمراء (Pang, 2008)، وفي دراسة أفادت بانه يمكن أن يعزز MF الموصلية ويقلل من التوتر السطحي للماء (Mane *et al*., 2015)، وفي سنة **2019** قام باحثون بفحص تأثير المجال المغناطيسي الثابت في الماء السائل باستخدام التجارب الاحتكاكية، وأشارت النتائج إلى أن معامل الاحتكاك كان أصغر للماء الممغنط من معامل الاحتكاك للماء النقي (Farzadniya, 2017)، كما تم دراسة تأثير MF في روابط الهيدروجين في الماء، وناقش آلية المغنطة على أساس محاكاة نماذج الديناميكا التجريبية والنظرية والي يومنا هذا مازالت الأبحاث المختلفة على خصائص الماء مصدر لاهتمام الباحثين والعلماء.

2.1. إشكاليات الدراسة:

عدم توفر قاعدة بيانات مقارنة بين معدل تبخر الماء العادي والماء الممغنط، بالإضافة إلى غياب دراسات منهجية تركز بشكل خاص على تأثير المجال المغناطيسي في معدل تبخر الماء، كما توفر معلومات تتعلق بتغير شدة المجال المغناطيسي وتأثيرها على معدل التبخر، علاوة على ذلك، هناك نقص ملحوظ في الدراسات والأبحاث في المنطقة العربية بشأن طرق مغنطة الماء وتطويرها من الناحية الفيزيائية، مما يستدعي الحاجة الملحة إلى مزيد من البحث والتحليل في هذا المجال.

يتمحور الهدف العام لهذه الدراسة حول فهم وتحليل تأثير المجال المغناطيسي في معدل تبخر الماء، وتنبثق من هذا الهدف العام عدة أهداف هي:

3.1. أهداف الدراسة:

1. فهم تأثير المجال المغناطيسي على معدل تبخر الماء وتحليل العوامل المؤثرة في هذه العملية.
2. مقارنة معدل التبخر للماء المعرض للمجال المغناطيسي مقابل الماء العادي غير المتعرض للمجال المغناطيسي، باستخدام طرق وأساليب قياس دقيقة.
3. تحليل النتائج وتفسيرها بناءً على البيانات المقدمة، وتقديم توصيات للاستفادة من هذه الدراسة في التطبيقات العملية، مثل تحسين عمليات التبخر وتكنولوجيا الماء.
4. ملاءمة النتائج والتوصيات للظروف العربية والبيئات المحلية، وتعزيز البحث والابتكار في هذا المجال في المنطقة العربية.

لتحقيق هذه الأهداف، ستعتمد الدراسة على منهج تجريبي يتضمن إجراء تجارب مخبرية لقياس معدل تبخر الماء في ظروف مختلفة من المجال المغناطيسي، وسيتم استخدام أجهزة قياس دقيقة لتسجيل معدلات التبخر وشدة المجال المغناطيسي، بالإضافة إلى متغيرات البيئة الأخرى، كما سيتم إجراء تحليل إحصائي للبيانات المجمعة لاستخلاص النتائج وتفسيرها.

4.1. أهمية الدراسة:

تكمن أهمية هذا البحث في التعريف بالماء المغناطيسي لما له من أهمية وإمكانية استكشاف تعزيز تبخر الماء بعد أن تتم معالجته بالمجال المغناطيسي ومحاولة تقديم المزيد من المعلومات عن الماء الممغنط ودراسة العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي ومعدل التبخر.

5.1. الدراسات السابقة:

لقد لاقى تأثير المجالات المغناطيسية في تبخر الماء باهتمام كبير في السنوات الأخيرة، والعديد من التجارب أظهرت زيادة معدلات تبخر الماء في وجود مجال مغناطيسي، خاصة عند تعرض الماء لظروف جاذبية متغيرة، وتشير النتائج إلى أن المجال المغناطيسي يؤثر في مساحة سطح التبخر ويحث على الحمل الحراري بسبب اختلاف القابلية المغناطيسية لبخار الماء والهواء.

فقد استكشفت الدراسات تأثير المغناطيس الحلقي النيوديميوم في تبخر الماء والتوتر السطحي، وأكدت نتائجهم أن المجال المغناطيسي القوي (**0.65** T) لم يزد فقط من معدلات التبخر، بل أدى أيضًا إلى انخفاض طفيف في التوتر السطحي، والذي استمر لأكثر من ساعة، وقد عُزيت هذه الظاهرة إلى تأثير المجال المغناطيسي في الروابط الهيدروجينية داخل جزيئات الماء، مما قد يؤدي إلى كسرها، وسلطت الدراسة الضوء على تباين كميات التبخر اعتمادًا على اتجاه المغناطيس، مما يؤكد تعقيد التفاعلات المغناطيسية مع الماء.

1.5.1. تأثير المجال المغناطيسي في خصائص الماء:

قدم "Carbonell" وآخرون **(2002)** دراسة بعنوان "تبخير المياه المعالجة مغناطيسيًا ومحاليل كلوريد الصوديوم"، تم تقييم تأثير المعالجة المغناطيسية في معدل تبخر الماء المقطر وماء الصنبور ومحاليل نترات الصوديوم (NaCl)، باستخدام طريقة التدوير في أنبوب يحتوي على مغناطيس بقوة **125** مللي تسلا، ووجدت الدراسة أن معدل التبخر كان أقل بنسبة **5.07%**، **4.5%**، و**3.60%** على التوالي، مقارنة بالمجموعة الضابطة، مما يدل على انخفاض معدل تبخر هذه الأنواع بفعل التأثير المغناطيسي.

قدم "Shao-yi" وآخرون **(2006)** دراسة بعنوان "تأثير المجال المغناطيسي على عملية تبخر الماء المقطر"، وتم وضع الماء المقطر تحت تأثير مجالات مغناطيسية مختلفة **(0.25، 0.36، 0.55** T) ومقارنة معدلات التبخر، وأظهرت النتائج أن معدل تبخر الماء في وجود المجال المغناطيسي يزيد بنسبة **1.1** مرة مقارنة بالحالة دون مجال، مع تزايد معدل التبخر مع زيادة درجة الحرارة.

قدم "Chang & Weng" **(2006)** دراسة تحليلية استخدمت محاكاة الديناميكا الجزيئية لدراسة التغيرات الهيكلية في الماء السائل نتيجة لتطبيق المجال المغناطيسي الخارجي بقوة تتراوح بين **1** الى **10** تسلا. أظهرت الدراسة تأثير المجال المغناطيسي في هيكل الماء، حيث زاد عدد الروابط الهيدروجينية قليلاً بزيادة قوة المجال، بينما انخفض معامل الانتشار الذاتي لجزيئات الماء تحت تأثير المجال.

قدم "Amiri & Dadkhah" **(2006)** دراسة بعنوان "تقليل التوتر السطحي للماء بسبب المعالجة المغناطيسية". أجريت أكثر من **200** اختبار خلال ستة أشهر، ووجد أن توتر سطح الماء يعدُ مؤشرًا حساسًا جدًا للتغيرات في العينة السائلة، وأشار الباحثون إلى أن تأثير المجال المغناطيسي في خواص الماء قد يكون له تأثير غير مباشر على معدل التبخر.

قدم "Pang" وآخرون **(2012)** دراسة تحليلية تناولت تأثير المجال المغناطيسي الخارجي على الخصائص الميكروسكوبية للماء، مثل الحرارة النوعية وتأثير الامتصاص ومؤشر الانكسار والتوصيل الكهربائي. ووجدت الدراسة أن المجال المغناطيسي يقلل من الحرارة النوعية ويزيد من درجة الامتصاص للأجسام الغير قابلة للذوبان، بالإضافة إلى زيادة مؤشر الانكسار والتوصيل الكهربائي للماء مقارنة بالماء النقي. وقد عزت هذه التغيرات إلى التغييرات في الهياكل المجهرية وتوزيع جزيئات الماء تحت تأثير المجال المغناطيسي.

قدم "Rong-Qin وآخرون **(2017)**" دراسة بعنوان "أغشية رقيقة ذاتية التجميع وقابلة لإعادة التدوير مغناطيسيًا بكفاءة عالية عن طريق التسخين الشمسي البيني". تناولت الدراسة تصنيع جسيمات مغناطيسية صغيرة تتجمع في طبقة رقيقة على سطح الماء تحت تأثير محاكاة ضوء الشمس، وأظهرت النتائج أن هذه الجسيمات تسهم في زيادة كفاءة تبخير الماء بنسبة تصل إلى **2.2** مرة مقارنة بالتبخير دون استخدام الطبقة الرقيقة.

وقدم "Youkai" وآخرون **(2018)** دراسة تحليلية تستكشف تأثير المجال المغناطيسي في الخواص الفيزيائية للماء. تم قياس خصائص الماء (TW) وأربعة أنواع من الماء المغناطيسي (MW) تحت الظروف نفسها، بما في ذلك قوة مجال مغناطيسي قدرها(mlT **300)**، وأظهرت النتائج أن معالجة الماء بالمجال المغناطيسي تؤدي إلى زيادة كمية التبخر، وانخفاض الحرارة النوعية، وتغيير نقطة الغليان.

وقدم "Weiwei" وآخرون **(2018)** دراسة بعنوان "البنية البينية وسلوك ترطيب قطرات الماء على الغرافين تحت مجال مغناطيسي ثابت". باستخدام المحاكاة الديناميكية الجزيئية، أظهرت الدراسة أن المجال المغناطيسي الثابت يؤثر في توزيع الماء على سطح الغرافين وزوايا التبلل، مما قد يؤثر على معدل تبخر الماء من خلال تأثيره في توزيع الماء وتفاعله مع السطح.

وقدم "Redouane" وآخرون **(2020)** دراسة بعنوان "تأثير المتغيرات الفيزيائية والكيميائية على المعالجة المغناطيسية للماء". ركزت الدراسة على العلاقة بين المتغيرات الفيزيائية والكيميائية ومعدل تبخر الماء، مستعرضة تأثير كل من درجة الحرارة وسرعة الماء والملوحة والرقم الهيدروجيني (pH)، وأظهرت النتائج أن زيادة درجة الحرارة أو سرعة الماء أو الملوحة تؤدي إلى زيادة وقت التغذية المغناطيسية، بينما لم يكن لتغير الرقم الهيدروجيني تأثير ملحوظ في هذه العملية.

2.5.1. تأثير المجال المغناطيسي على عملية التبخر:

بحث "Holysz" وآخرون **(2007)** في تأثير المجال المغناطيسي الساكن على الماء ومحاليل الكهروليت، ضمن دراسة بعنوان "تأثير المجال المغناطيسي الساكن على الماء ومحاليل الكهروليت"، وتم قياس تأثير المجال المغناطيسي في توصيلية الماء وكميات الماء المتبخرة مع مرور الزمن، حيث تم مقارنة العينات المعرضة للمجال بأخرى غير معرضة كضابطة، وأظهرت النتائج تأثيرًا واضحًا للمجال المغناطيسي على هذه العينات، مع تغييرات في الوظائف الحرارية لتأين الأيونات، مما يدل على تأثير المجال المغناطيسي في تعديل غلاف التأيين للأيونات.

وفي دراسة قام بها "Aminfar" وآخرون **(2014)**، تم إجراء دراسة تجريبية لفهم تأثير المجال المغناطيسي في معدل التبخر الحرج لسائل الفيروفلويد في تدفق الغليان داخل حلقة رأسية. أُجريت التجارب في اتجاه تدفق صعودي، مع الحفاظ على درجة التبريد الفائضة ثابتة، وتغيير كثافة التدفق من Kg/m^3 **(0** إلى **150)**، واستخدم الباحثون الفيروفلويد مع الماء كالسائل الأساسي، ووجدوا أن تطبيق المجال المغناطيسي الخارجي أدى إلى تحسين معدل التبخر الحرج لكل من الماء النقي والفيروفلويد.

في عام **2014**، قام "Ansari" وآخرون **(2014)** بدراسة بعنوان "استقصاء مغنطة الماء وتأثيرها على بعض خصائص الخرسانة مثل السيولة وقوة الانضغاط". تم استخدام ثلاثة أجهزة لإنتاج الماء الممغنط، منها جهاز AFM وجهاز ac، بالإضافة إلى جهاز مصنّع في مختبر الخرسانة بجامعة صهراند للتكنولوجيا، وأظهرت النتائج أن شدة المجال المغناطيسي وسرعة وزمن مرور الماء عبر الجهاز المغناطيسي تؤثر بشكل مباشر في خصائص الماء الممغنط، مما قد يؤدي إلى تغيير في تفاعل الماء مع السطح والترتيب الجزيئي، وبالتالي يؤثر في معدل التبخر.

قدم "Ivanov" **(2018)** دراسة تحليلية تركزت على تأثير درجة حرارة التوتر السطحي على قطرات المرحلة المكثفة في السوائل المغناطيسية. أظهر التحليل العددي سلوكًا غير عادي لهذه السوائل مقارنة بالسوائل المكونة من مكون واحد، حيث وجد أن زيادة درجة حرارة التوتر السطحي تؤدي إلى زيادة قطرات المرحلة المكثفة، مما يسهم في تحسين معدل التبخر وتعزيز كفاءة عمليات التبخير باستخدام التأثير المغناطيسي.

قدم "Sronsri" وآخرون **(2021)** دراسة لاستكشاف تأثير المجال المغناطيسي على الخواص الطيفية الاهتزازية والحرارية، وذوبان الملح في الماء المغناطيسي. تم مراقبة التغيرات في امتصاص الأشعة الحمراء وتبعثر رامان، وقدرة الحرارة، وذوبان الملح، وأظهرت النتائج أن تطبيق المجال المغناطيسي يؤدي إلى تغييرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء، بما في ذلك توزيع الإلكترونات واستقطاب الجزيئات، مما يؤثر في معدل تبخر الماء.

قدم Amor وآخرون **(2021)** دراسة بعنوان "دراسة تجريبية وتحليلية لبيانات تأثير الأيونات في الماء على عملية التبخر تحت ظروف مغناطيسية ساكنة". تضمنت الدراسة اختبارات مختبرية لتأكيد تأثير المعالجة المغناطيسية في تركيبة الماء الأيونية ومعدل التبخر، وأظهرت النتائج أن وجود حقل مغناطيسي ساكن يزيد من كتلة التبخر بنسبة تصل إلى **24%**، دون أن يظهر لتركيبة الماء أي علاقة مباشرة بالتبخر.

3.5.1. تأثير المجال المغناطيسي على سلوك الماء وتطبيقاته:

قدم "Pang & Shen " **(2013)** دراسة بعنوان "تغيرات الخصائص الفيزيائية للماء نتيجة للمجال المغناطيسي وآليتها". تناولت الدراسة تأثير المجال المغناطيسي في الخصائص الكهرومغناطيسية للماء تجريبيًا، ووجدت أن المجال المغناطيسي يقلل من الثابت الكهربي ومقاومة الماء، بينما يزيد من قابليته للتوصيل الكهربائي.

وقدم "Mahdi" وآخرون **(2019)** دراسة بعنوان "تأثير المجال المغناطيسي على خواص المياه المعالجة بالتناضح العكسي". تم قياس تأثير مستويات مغناطيسية مختلفة في الخصائص الكيميائية والكهربائية للماء المعالج بواسطة التناضح العكسي، ووجدت الدراسة أن التغذية المغناطيسية للماء تؤدي إلى زيادة مستويات بعض الأيونات مثل المغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والكلور وثاني أكسيد السيليكون، مما قد يؤثر في معدل تبخر الماء.

قدم "Shyam" وآخرون **(2020)** دراسة بعنوان "حركية التبخر المحفزة بواسطة المجال في قطرة فلزية مغناطيسية على قاعدة ناعمة". استخدمت الدراسة تقنيات مرئية مع حقل مضيء وتحليل μ-PIV للحصول على رؤى نوعية وكمية حول الهيدروديناميكا الداخلية للقطرة، وأظهرت النتائج زيادة ملحوظة في معدل تبخر القطرة عند وجود مجال مغناطيسي متغير.

وقدم "Quan" وآخرون **(2021)** دراسة بعنوان "تعزيز تبخر الماء من خلال توافق المجال المغناطيسي الديناميكي والثابت". تمت معالجة الماء أولًا باستخدام مجال مغناطيسي ديناميكي، وأظهرت النتائج أن المعالجة المغناطيسية المفردة تعزز معدل التبخر، ومع ذلك فإن توافق المعالجة المغناطيسية الديناميكية والثابتة تحدث تأثيرًا كبيرًا في تحسين تبخر الماء، حيث تصل أقصى نسبة لتحسين معدل التبخر إلى **14.3%**، ويُعزى هذا التأثير إلى تغيير توتر سطح الماء، مما يسهل هروب جزيئات الماء من الواجهة المائية.

قدم "Abhishek" وآخرون **(2021)** دراسة بعنوان "ظواهر تبخر القطرات الساكنة المتحكمة بالفيروهيدروديناميك في وجود المجال المغناطيسي". استكشفت هذه الدراسة حركية التبخر على الأسطح المائية المحبة أو المقاومة للماء تحت تأثير مجالات مغناطيسية مختلفة.، وقد أظهرت النتائج أن وسائط المغناطيس الحراري والذوبانية هي الآليات السائدة وراء الديناميكا المعززة للتبخر، كما تم التوصل إلى توقعات دقيقة لمعدلات التبخر المعززة باستخدام نموذج لتحجيم تدفق ستيفان.

6.1. خلاصة:

تُظهر الدراسات أن المجالات المغناطيسية تلعب دورًا حيويًا في تحسين كفاءة تبخر الماء، وذلك من خلال تأثيراتها المتعددة مثل تعديل التركيب الأيوني والتغيير في التوتر السطحي، كما تشير النتائج إلى إمكانية استخدام هذه الظواهر في تطبيقات متنوعة، بدءًا من التحلية إلى تنقية المياه، بالإضافة إلى ذلك تسهم التحسينات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء في تطوير حلول مبتكرة في مجالات متعددة، بما في ذلك البناء.

الفصل الثاني

المراجعة النظرية (Theoretical framework)

1.2 المجالات المغناطيسية.

2.2 القوة المغناطيسية والتيار الكهربائي (قوة لورنتز).

3.2 تأثير المجال المغناطيسي على الماء.

4.2 النظريات الفيزيائية ذات الصلة بالتبخر والمجال المغناطيسي.

5.2 عملية التبخر.

6.2 مياه الآبار.

7.2 تأثير المجال المغناطيسي في خصائص الماء.

8.2 العلاقة بين المجال المغناطيسي ومعدل التبخر.

9.2 تقنيات معالجة المياه باستخدام المجالات المغناطيسية.

10.2 ملخص.

1.2. المجالات المغناطيسية (Magnetic Field)

المجال المغناطيسي هو قوة مغناطيسية تنشأ في المنطقة المحيطة بجسم مغناطيسي أو موصل يمر به تيار كهربائي، حيث يمكن رؤية توزيع هذا المجال بنثر برادة الحديد على ورقة موضوعة على قضيب مغناطيسي أو ورقة يمر خلالها سلك يمر به تيار كهربائي، وعند وضع إبرة بوصلة في هذا المجال فإنها توجه نفسها في اتجاه معين في كل جزء من المجال، والخطوط المرسومة في اتجاه الإبرة عند النقاط المختلفة تحدد التوزيع العام للقوة المغناطيسية في هذا المجال الذي ينشأ من المغناطيسات الدائمة أو التيارات الكهربائية المتحركة ويمكن للقوى المغناطيسية فيه أن تؤثر على الأجسام المغناطيسية أو الشحنات المتحركة (Stefan, *et al.*, 2023).

عندما يمر تيار كهربائي خلال موصل طويل وتوضع بوصلة قريبة منه، نلاحظ أن البوصلة تنحرف عند بدء مرور التيار، كما نلاحظ أن اتجاه هذا الانحراف يعتمد على اتجاه سريان التيار (Nussinov & Brink, 2015).

1.1.2. مفهوم المجال المغناطيسي

المجال المغناطيسي هو خاصية للحيز المحيط بالمغناطيس، والذي يظهر فيه تأثير المجال المغناطيسي في شكل قوى مؤثرة في المغانط الأخرى والمواد المغناطيسية كالحديد والنيكل والكوبلت والنيوديميوم، بالإضافة إلى تأثيره على الشحنات الكهربائية المتحركة داخل هذا الحيز (طالب، **2023**).

ويُعرف المجال المغناطيسي بأنه "كمية فيزيائية تُحدد قوة واتجاه القوة التي ستؤثر على شحنة كهربائية متحركة داخل هذا المجال"، يُرمز للمجال المغناطيسي عادةً بالرمز **B**، ويُقاس بوحدات تسلا (T) في النظام الدولي للوحدات (SI) (بن ذيب، **2020**).

يعد المجال المغناطيسي، الذي يُشار إليه بالرمز B ويتم قياسه بوحدات Tesla (T) في النظام الدولي للوحدات (SI)، كمية فيزيائية أساسية تحدد قوة واتجاه القوة المؤثرة على شحنة كهربائية متحركة داخل المجال، ويعود تاريخ المغناطيسية إلى العصور القديمة حيث أدرك طاليس وسقراط الخصائص الجذابة للحجر الحجري والمغنتيت (Matioui, 2022)، تتضمن أنظمة قياس المجال المغناطيسي الحديثة تقنيات متقدمة مثل دوائر FLL الرقمية مع

مكبرات الصوت والمحولات والمتكاملات ووحدات التخزين لقياس شدة المجال المغناطيسي وتصحيحها بدقة (البرغوثي،2020)، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تتضمن أنظمة المجال المغناطيسي صفائف من مقاييس المغناطيسية ومولدات المجال المغناطيسي التي تتحكم فيها المعالجات لإنتاج مجالات مغناطيسية اتجاهية لتطبيقات مختلفة (نجم *وآخرون*، **2024**).

وتتمثل المعادلة الأساسية للمجال المغناطيسي الناتج عن سلك مستقيم يحمل تيارًا:

$$B = (\mu_0 * I) / (2\pi r) \qquad \textbf{(1-2)}$$

حيث:

- B: شدة المجال المغناطيسي (وحدته T)
- μ_0: نفاذية الفراغ المغناطيسية ($\mathbf{4\ \pi \times 10^{-7}}$ T· m/A)
- I: شدة التيار المار في السلك (وحدته A)
- r: المسافة العمودية من السلك إلى النقطة التي نقيس عندها المجال (وحدتها m)
- π: النسبة التقريبية **3.14159**

تظهر المعادلة أن شدة المجال تتناسب طرديًا مع التيار وعكسيًا مع المسافة من السلك، مما يعني أن المجال يقوى مع زيادة التيار ويضعف مع الابتعاد عن السلك، ويتخذ المجال شكل دوائر متحدة المركز حول السلك، ويمكن تحديد اتجاهه باستخدام قاعدة اليد اليمنى، وهذه العلاقة البسيطة تشكل أساسًا قويًا لفهم السلوك المغناطيسي للتيارات الكهربائية وتطبيقاتها في مجالات الهندسة الكهربائية والفيزياء التطبيقية (العمري، **2020**).

أما معادلة المجال المغناطيسي الناتج عن ملف لولبي (سولينويد):

$$B = \mu_0 nI \qquad \textbf{(2-2)}$$

حيث:

- B هو شدة المجال المغناطيسي (وحدته T)
- μ_0 هو نفاذية الفراغ المغناطيسية ($\mathbf{4\ \pi \times 10^{-7}}$ T·m/A)
- n هو عدد اللفات لكل وحدة طول (N/m)
- I هو شدة التيار المار في الملف (وحدته A)

تبين هذه المعادلة أن شدة المجال المغناطيسي تتناسب طردياً مع عدد اللفات لكل وحدة طول وشدة التيار المار في الملف، ويتميز المجال الناتج بكونه منتظماً وموازياً لمحور الملف داخله، مع افتراض أن الملف طويل نسبياً مقارنة بقطره. هذه العلاقة البسيطة تمكننا من إنتاج مجالات مغناطيسية قوية ومتجانسة، مما يجعلها أساسية في تصميم وفهم العديد من التطبيقات الكهرومغناطيسية مثل المغناطيسات الكهربائية والمحركات وأجهزة الرنين المغناطيسي، حيث يضعف المجال بسرعة خارج الملف ليصبح مهملاً على مسافات بعيدة.

2.1.2. شدة المجال المغناطيسي:

تُقاس شدة المجال المغناطيسي بوحدة تسمى تسلا (T) في النظام الدولي للوحدات. يمكن قياس شدة المجال المغناطيسي بعدة طرق:

1. **باستخدام مقياس الغاوس (Gauss meter):** يعتمد على تأثير هول، حيث يقيس فرق الجهد الناتج عن حركة الإلكترونات في موصل موضوع في المجال المغناطيسي (البرغوثي، **2020**).
2. **باستخدام ملف استشعار (Search coil):** يعتمد على قانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسي، حيث يتم قياس الجهد المستحدث في الملف عند تحريكه في المجال المغناطيسي (نجم *وآخرون*، **2024**).
3. **باستخدام مقياس فلكس (Fluxgate magnetometer):** يعتمد على تشبع قلب حديدي في مجال مغناطيسي متناوب (Leong *et al.*, 2001).

3.1.2. أنواع المجالات المغناطيسية

وفقًا لـ(العمري، **2020**) يمكن تصنيف المجالات المغناطيسية إلى نوعين رئيسيين:

1- **المجال المغناطيسي المطلق:** هذا النوع من المجالات المغناطيسية ينتج عن مغناطيسات دائمة أو تيارات كهربائية في أسلاك محايدة، وحجم هذا المجال ثابت، بغض النظر عن حالة حركة المراقب.

2- **المجال المغناطيسي النسبي:** هذا النوع من المجالات المغناطيسية ينتج عن الحركة الاتجاهية للشحنات المتشابهة، حجم هذا المجال يختلف اعتمادًا على حالة حركة الراصد.

وقد أكدت دراسة (Auvert, 2023) على أهمية توحيد تعريف خطوط الحقل في الحقول الكهروستاتيكية والمغناطيسية، مما يسهل فهم وتفسير خطوط الحقل في كلا النوعين من الحقول.

في مجال التنبؤ بالمجالات المغناطيسية قدمت دراسة (Pollok *et al*., 2023) تقنية جديدة تعتمد على استخدام الشبكات التنافسية التوليدية (GANs) والتعلم العميق (DL) للتنبؤ بالمجال المغناطيسي في المناطق التي يصعب قياسه فيها بشكل مباشر، وأظهرت هذه التقنية دقة عالية في التنبؤ وأداءً أفضل من التقنيات التقليدية.

4.1.2. خصائص المجالات المغناطيسية:

- **الاتجاه:** يتجه المجال المغناطيسي من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي للمغناطيس.
- **القوة:** تعتمد قوة المجال على شدة التيار الكهربائي والمسافة من المصدر.
- **التداخل:** يمكن أن تتداخل المجالات المغناطيسية الناتجة عن مصادر مختلفة، مما يؤدي إلى تشكيل مجالات مركبة.

ولدرجة الحرارة تأثير كبير في الخصائص المغناطيسية للمواد، ويمكن تمييز نوعين رئيسيين من درجات الحرارة المؤثرة على هذه الخصائص (بن ذيب، وبن خديم، **2020**):

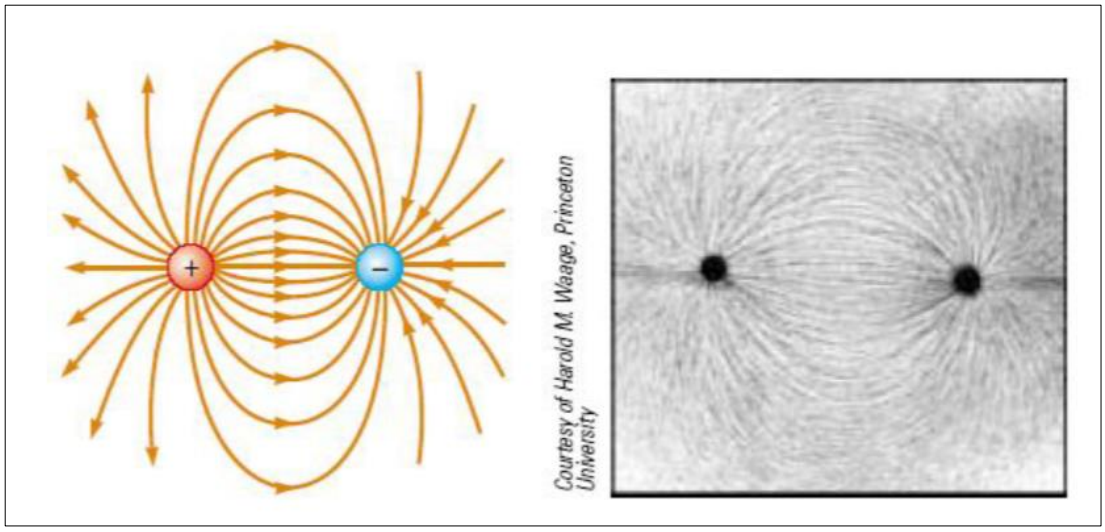
- درجة حرارة كوري (Tc): هي درجة الحرارة التي عندها تختفي الخواص المغناطيسية للمادة، وعند هذه الدرجة تتحول المادة المغناطيسية الحديدية إلى حالة مغناطيسية مسايرة، ويُرمز لهذه الدرجة بالرمز Tc.
- درجة حرارة نيل (T_N): هي درجة الحرارة التي فوقها تتحول المادة المغناطيسية الحديدية المضادة إلى حالة مغناطيسية مسايرة، وعند هذه الدرجة العالية من الحرارة، تصبح الطاقة الحرارية في العينة كبيرة بحيث يتفكك الترتيب المغناطيسي للحبيبات، ويُرمز لهذه الدرجة بالرمز T_N.

وتتميز خطوط المجال المغناطيسي بعدة خصائص (الموصلي، **2013**):

1. **خطوط وهمية:** تبدو خطوط المجال المغناطيسي خارجة من القطب الشمالي وداخلة في القطب الجنوبي خارج المغناطيس، وبالعكس من الجنوبي إلى الشمالي داخل المغناطيس.

2. **كثافة الخطوط:** تتكاثف وتتزاحم خطوط المجال المغناطيسي عند الأقطاب، وتقل في بقية المناطق، هذا لأن القوة المغناطيسية تكون أكبر عند الأقطاب وتقل في بقية المناطق، كلما زاد عدد الخطوط التي تقطع مساحة سطح معينة، كلما زادت القوة المغناطيسية في تلك المنطقة.
3. **اتجاه الخطوط:** خطوط المجال المغناطيسي مغلقة (مقفلة)، حيث لا يمكن وجود قطب منفرد، خروج الخطوط من القطب الشمالي ينتهي بدخولها إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس، ثم داخله من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي.
4. **عدم تقاطع الخطوط:** خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع، لأن ذلك يعني وجود أكثر من اتجاه للمجال المغناطيسي عند نقطة التقاطع، وهذا غير ممكن عملياً.
5. **اتجاه المجال:** إذا كان خط المجال منحنياً، فإن المماس عند أي نقطة يمثل اتجاه المجال المغناطيسي، إذا كان الخط مستقيماً، فإن اتجاهه يمثل اتجاه المجال مباشرة.
6. **التناسب مع المجال:** عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تقطع سطحاً معيناً عمودياً عليه يتناسب طردياً مع المجال المغناطيسي في تلك المنطقة.
7. **التدفق المغناطيسي:** التدفق المغناطيسي خلال سطح مغلق يساوي صفراً، حيث عدد الخطوط الداخلة مساو لعدد الخطوط الخارجة.

ويُظهر الشكل **(2–1)** خصائص المجالات المغناطيسية.



الشكل (2–1): خطوط المجال المغناطيسي

2.2. القوة المغناطيسية والتيار الكهربي (قوة لورنتز)

قوة لورنتز هي قوة مغناطيسية تتأثر بها الشحنات الكهربائية المتحركة عند تعرضها لمجال مغناطيسي، تم اكتشاف قوة لورنتز من قبل العالم الهولندي هندريك لورنتز في القرن التاسع عشر، وقد أسهم هذا الاكتشاف في فهم العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية وفي تطور نظرية الكهرومغناطيسية (سلخان، وغالي، **2018**).

وتعرف قوة لورنتز بأنها القوة المغناطيسية التي تتأثر بها الشحنات الكهربائية المتحركة في مجال مغناطيسي.

الحقل المغناطيسي هو العامل الأساسي الذي يسبب تحقيق فعل قوة لورنتز، وعندما يتحرك جسيم مشحون في حقل مغناطيسي، يتفاعل الحقل المغناطيسي مع الشحنة الكهربائية للجسيم، مما يؤدي إلى تطبيق قوة لورنتز على الجسيم. بالتالي، يكون للحقل المغناطيسي الموجود في المنطقة تأثيرًا أساسيًا لتحقيق فعل قوة لورنتز، ويقدم وصف قوة لورنتز الرياضي بواسطة قانون لورنتز للقوة المغناطيسية والذي يمكن التعبير عنه بالصيغة التالية (Byeonghee *et al.*, 2012):

معادلة قوة لورنتز في صورتها الأساسية هي:

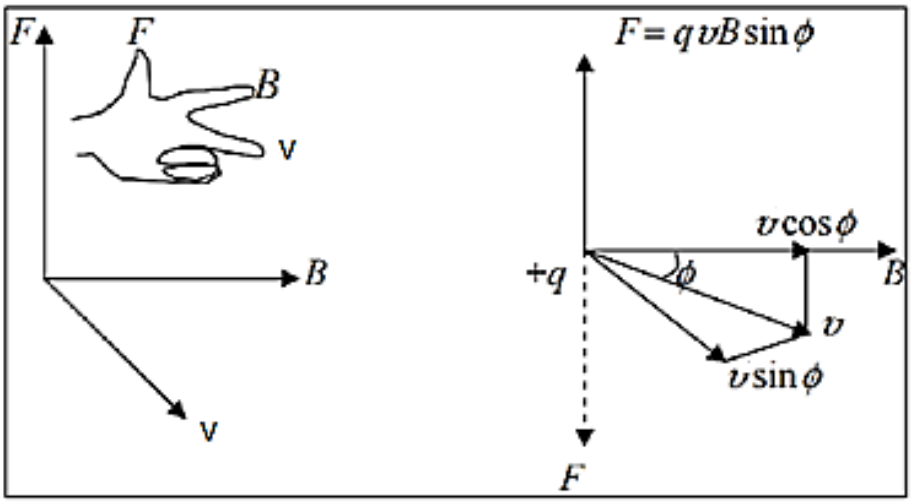
$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right) \qquad (3-2)$$

حيث:

- F: القوة المؤثرة على الجسيم المشحون (وحدتها N)
- q: الشحنة الكهربائية للجسيم (وحدتها C)
- E: المجال الكهربائي (وحدته N/C أو V/m)
- v: سرعة الجسيم المشحون (وحدتها m/s)
- B: شدة المجال المغناطيسي (وحدته T)
- ×: تشير إلى الضرب الاتجاهي (ضرب المتجهات)

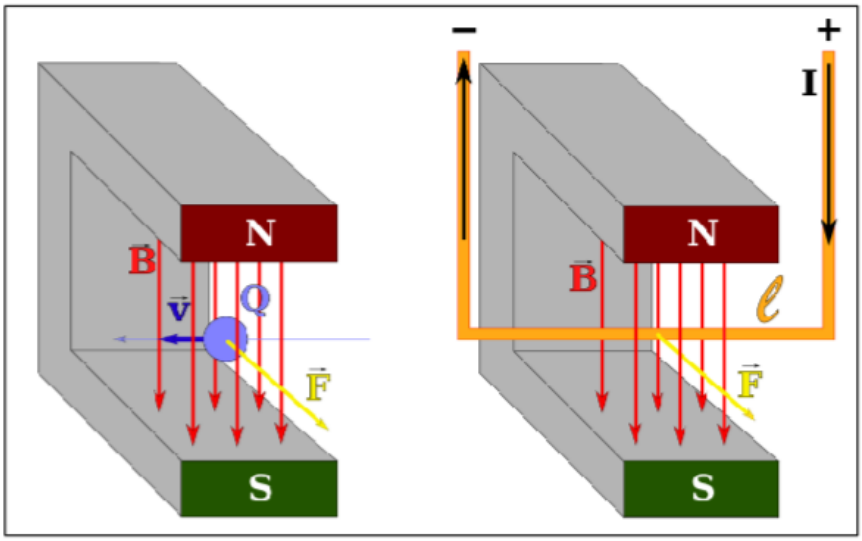
تُظهر المعادلة أن القوة المؤثرة على جسيم مشحون في وجود مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي تتكون من جزأين: الأول qE يمثل تأثير المجال الكهربائي ويعمل على الجسيم بغض النظر عن حركته، والثاني $q\ (\vec{v} \times \vec{B})$ يمثل تأثير المجال المغناطيسي ويؤثر فقط في الجسيمات المتحركة، واتجاه القوة المغناطيسية يكون عمودياً على كل من سرعة الجسيم والمجال المغناطيسي، مما قد يؤدي إلى حركة دائرية أو حلزونية للجسيم، وهذه المعادلة أساسية في فهم سلوك الجسيمات المشحونة في المجالات الكهرومغناطيسية، ولها تطبيقات واسعة في الفيزياء النظرية والعملية، بما في ذلك تصميم أجهزة مثل المسرعات الجسيمية وأنابيب الأشعة الكاثودية (Matioui, 2022).

وفي حال جزيئات الماء، رغم أنها متعادلة كهربائيًا إلا أنها تمتلك عزمًا ثنائي القطب كهربائي نتيجة توزيع الشحنات غير المتماثل داخل الجزيء، وهذا يجعل جزيئات الماء تتأثر بالمجالات المغناطيسية، حيث يمكن أن يؤثر المجال على توجيه هذه الجزيئات (Chang & Weng, 2006)، وتولد أي شحنة متحركة مجالًا مغناطيسيًا في الفضاء المحيط بها، بالإضافة إلى المجال الكهربائي، سواء كانت في حالة حركة أو سكون، ومن المهم أن نلاحظ أن الشحنات الكهربائية، سواء كانت ثابتة أو متحركة، تتأثر بالمجال الكهربائي، بينما يجب أن تكون الشحنة متحركة لتتأثر بالمجال المغناطيسي، وغالبًا ما يكون المجال الكهربائي الناتج عن الشحنات المتحركة صغيرًا، مما يجعل تأثيره على الشحنة المتحركة غير ملحوظ مقارنة بالقوة المغناطيسية، وتتأثر المواد المغناطيسية، مثل إبرة البوصلة، بقوة المجال المغناطيسي عندما تكون ضمن نطاق تأثير المغناطيس، وإذا تحركت شحنة كهربائية عبر هذا المجال فإنها ستتعرض لقوة جانبية، ما لم تكن تتحرك في اتجاه المجال، حيث ستكون القوة المؤثرة فيها صفرًا، مما يؤدي إلى انحرافها عن مسارها الأصلي، وهذه القوة التي تدعى بالقوة المغناطيسية تبلغ أقصى قيمة لها عندما تكون حركة الشحنة الكهربائية باتجاه عمودي على المجال (نجم وآخرون، **2024**)، أي الحالة التي تكون بها سرعة الشحنة المتحركة θ تصنع زاوية مقدارها $\mathbf{0} < \varphi < \mathbf{90}$ مع المجال أما إذا كانت سرعة الشحنة ليست عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي وإنما تصنع زاوية مقدارها ($v\sin\varphi$) مع المجال فعندئذ يكون مقدار القوة المغناطيسية متناسبا طردياً مع مركبة السرعة العمودية على المجال ومقدارها **q** إضافة إلى مقدار الشحنة كما موضح في الشكل (**2−2**) (بريزنسكي، **2013**):



الشكل (2–2): قوة لورنتز "قاعدة اليد اليسري" (بريزنسكي، 2013)

اتجاه قوة لورنتز يكون عموديًا على مستوى تحرك الشحنة المشحونة ومستوى المجال المغناطيسي، فإذا كانت الشحنة تتحرك بزاوية θ بالنسبة للمجال المغناطيسي، فإن القوة المطبقة على الشحنة تكون متجهة بزاوية 90^0 بالنسبة للاتجاهين يتحدد اتجاه(القوة بواسطة قاعدة اليد اليسري، حيث يتم وضع إصبع السبابة في اتجاه السرعة (v) إصبع الإبهام في اتجاه المجال المغناطيسي (B)، ثم يتجه إصبع الوسطى نحو اتجاه القوة (F)) ، والشكل(2–3) يوضح قوة لورنتز المؤثرة على جسيم ذو شحنة موجبة تتحرك بسرعة V (يسار)، حالة تيار كهربائي I يمر في سلك (يمين) وحركته تقطع عمودياً مجالا مغناطيسياً ذا كثافة فيض مغناطيس B (Stifter, 2012).



الشكل (2–3): يوضح قوة لورنتز المؤثرة على جسيم ذي شحنة موجبة تتحرك بسرعة V (يسار)، حالة تيار كهربائي I يمر في سلك (يمين) وحركته تقطع عموديا مجالا مغناطيسيا ذا كثافة فيض مغناطيس B (Pakmor *et al.*, 2014)

3.2. تأثيرات المجالات المغناطيسية في الماء

يُعد استخدام المغناطيس ذي جذور قديمة، فقد استخدمه الفراعنة والصينيون والهنود منذ زمن بعيد في مجالات متنوعة، وعبر تطور العلوم المغناطيسية، تبين أن الخواص المغناطيسية ليست حكرًا على عناصر محددة، بل هي خاصية ترتبط بجميع أنواع المواد الصلبة والسائلة والغازية، وعلى الرغم من أن هذه التقنية ليست حديثة إلا في البلدان النامية، إذ تم تسجيل أول براءة اختراع لمعالجة المياه مغناطيسيًا والتخلص من الترسبات الكلسية في أوروبا عام **1890**م، إلا أن الأبحاث المبكرة في مجال المغناطيسية التي أجريت خلال الفترة **1960**م – **1980**م في المعاهد الروسية وأوروبا والصين كانت محل دهشة وتشكيك لعدم توفير تفسيرات مقنعة لهذه المشاهدات المذهلة، أما الآن فقد أصبحت العديد من مفاهيم المغناطيسية حقائق علمية يمكن الدفاع عنها (Byeonghee *et al.*, 2012).

للمجال المغناطيسي تأثير مهم على معدل تبخر الماء، وقد تم تأكيد هذه النتائج من خلال دراسات متعددة باستخدام طرق مختلفة، ويشير ذلك إلى أن المجال المغناطيسي يمكن أن يكون أداة مهمة لتحسين كفاءة تبخر الماء، وذلك من خلال تحسين نقل الحرارة، وتغيير خصائص الماء وتركيبته، وتعديل تفاعله مع الأسطح، وقد أكدت دراسة (الحكيم، **2023**) أن المعالجة المغناطيسية للماء لها تأثيرات مهمة في الكائنات الحية، حيث وجدت أن المعالجة المغناطيسية أدت إلى تقليل عمر الذكور والإناث البازغة من يرقات البعوض، وقللت من معدل وضع البيض وفقسه، في حين ظهرت دراسة (Chang & Weng, 2006) أن المجال المغناطيسي الخارجي يؤثر في هيكل الماء السائل، حيث يزداد عدد الروابط الهيدروجينية قليلاً بزيادة قوة المجال المغناطيسي، كما ينخفض معامل الانتشار الذاتي لجزيئاته تحت تأثير المجال المغناطيسي، وينجم عن هذا التأثير ما يلي:

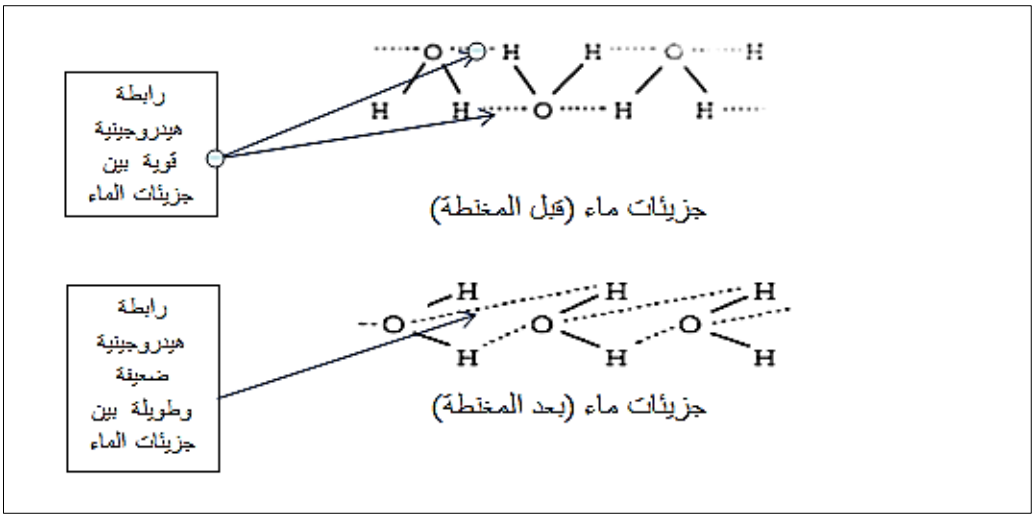
1.3.2. التأثير على سطح الماء:

تُشير دراسة (Rong-Qin *et al.*, 2017) إلى أن الجسيمات المغناطيسية غير القابلة للذوبان تُساهم في زيادة كفاءة تبخر الماء من خلال امتصاص الضوء ونقل الحرارة السريع، وتُحقق طبقة رقيقة مغناطيسية ذاتية التجميع زيادة كبيرة في كفاءة تبخر الماء، كما تُشير دراسة (Quan *et al.*, 2021) إلى أن توافق المجال المغناطيسي الديناميكي والثابت يُعزز

بشكل كبير معدل تبخر الماء، وُينسب هذا التأثير إلى تغيير توتر سطح الماء وتحفيز جزيئات الماء على الهروب من الواجهة المائية، وتُشير دراسة (Rong-Qin *et al.*, 2017) إلى أن الجسيمات المغناطيسية غير القابلة للذوبان تُساهم في زيادة كفاءة تبخر الماء، وفي هذا السياق، أشارت دراسة (محمد *وآخرون*، **2022**) إلى أن المعالجة المغناطيسية للماء تؤثر في معدل التبخر من المسطحات المائية، مما قد يكون له تطبيقات مهمة في إدارة الموارد المائية في المناطق الجافة، كما تُظهر دراسة (Abhishek *et al.*, 2021) أن معدلات التبخر للقطرات المغناطيسية تزيد بشكل كبير، ويُنسب هذا التأثير إلى تعزيز التدفق الحراري والذوبانية داخل القطرات، في حين تُشير دراسة (Amiri & Dadkhah, 2006) إلى أن توتر سطح الماء يعد مؤشرًا حساسًا جدًا للتغيرات في العينة السائلة، وُيمكن أن يكون لتأثير المجال المغناطيسي تأثير غير مباشر في معدل التبخر من خلال تغيير تفاعل الماء مع السطح وتبخره، أما دراسة (Weiwei *et al.*, 2018) فقد أشارت إلى أن المجال المغناطيسي الثابت يؤثر في توزيع الماء على سطح الغرافين وزوايا التبلل، وُمن الممكن أن يؤدي تغير سلوك التبلل الناجم عن المجال المغناطيسي إلى تغير في معدل التبخر، وأظهرت دراسة (Mghaiouini *et al.*, 2020) أن زيادة درجة الحرارة أو سرعة الماء تؤدي إلى زيادة وقت التغنيتة المغناطيسية، وُيمكن القول أن هذا يُشير إلى وجود علاقة بين تأثير المتغيرات الفيزيوكيميائية ومعدل التبخر للماء في سياق دراسة الماء المغناطيسي.

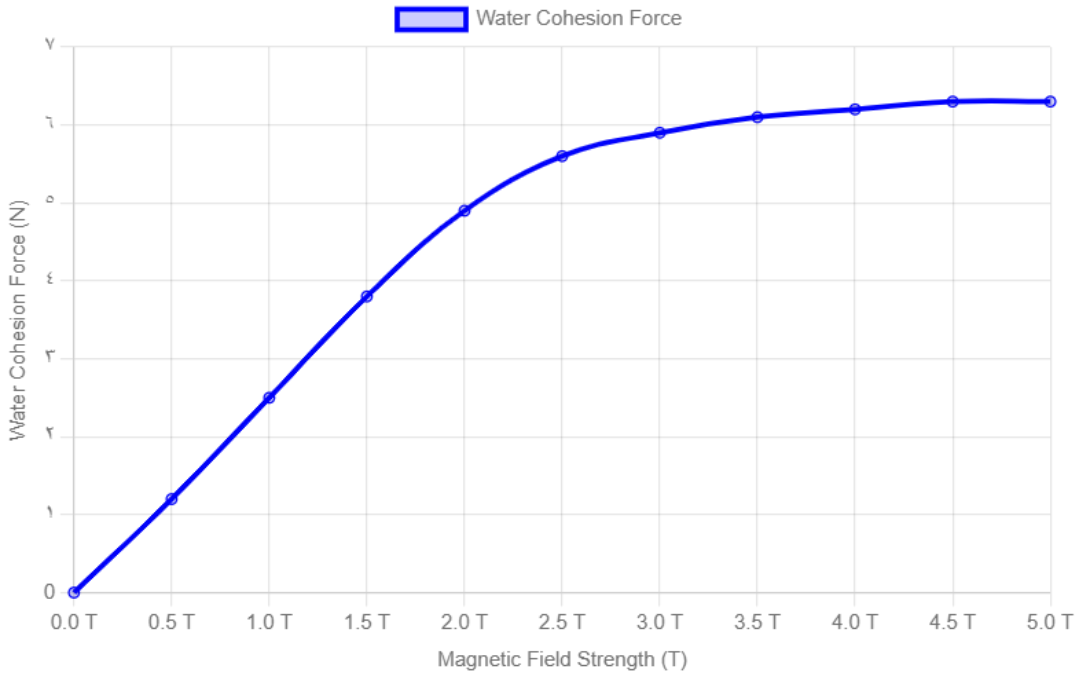
2.3.2. التأثير في هيكل الماء:

في دراسة أجراها Chibowski وآخرون **(2018)** عن تأثير مغناطيسات حلقات النيوديميوم على تبخر المياه والتوتر السطحي، أكدت نتائجهم أن المجال المغناطيسي القوي (0.65 T) يزيد من معدلات التبخر فحسب، بل يؤدي أيضًا إلى انخفاض طفيف في التوتر السطحي، والذي استمر لأكثر من ساعة، وقد نُسبت هذه الظاهرة إلى تأثير المجال المغناطيسي في الروابط الهيدروجينية داخل جزيئات الماء كما في الشكل **(2–4)** مما قد يؤدي إلى كسرها، وأن التباين في كميات التبخر يعتمد على اتجاه المغناطيس.



الشكل (2–4) : يوضح استقطاب الروابط الهيدروجينية للماء بفعل المجال المغناطيسي (الموصلي، 2013)

وقد أظهرت دراسة الحكيم (2023) أن المجالات المغناطيسية تؤثر في بنية الماء من خلال تغيير حجم الكتل الجزيئية، وفي دراسة مماثلة، وجد (بن ذيب وبن خـــديم، **2020**) أن المجال المغناطيسي يؤثر في الخصائص المغناطيسية للمواد، مما يشير إلى إمكانية تأثيره في البنية الجزيئية للماء.



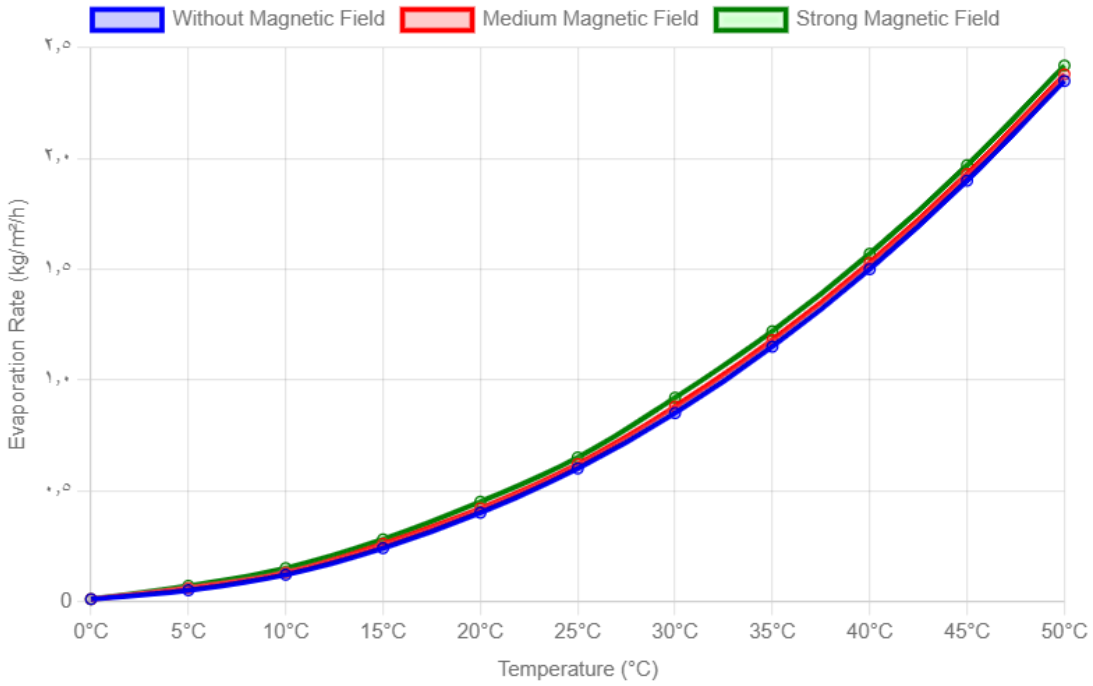
الشكل (2–5): قوة المجال المغناطيسي مقابل قوة تماسك الماء (dos Santos & Ferreira, 2021)

وفي سياق متصل، أكدت دراسة (Zidan *et al*., 2023) على التأثير الإيجابي للماء المعالج مغناطيسيًا في نمو النباتات، فقد وجدت الدراسة أن الماء المغناطيسي عند (**0.20**T) كان له تأثير كبير في نمو شتلات كل من الباميا واليقطين مقارنة بمعاملة المقارنة كما في الشكل **(2–5)** وفي دراسة أجراها (Hołysz *et al*., 2007) أثبتت أن المجال المغناطيسي يتسبب في تغيير قشور التأين للأيونات، مما يؤثر في توصيلية الماء ومحاليل الكهرليت وكمية الماء التي تتبخر، كما أظهرت دراسة (Chang & Weng, 2006) أن عدد روابط الهيدروجين يزيد قليلاً مع زيادة قوة المجال المغناطيسي، وُهذا يعني أن حجم تجمع الماء يمكن التحكم فيه من خلال تطبيق المجال المغناطيسي الخارجي، وأشارت دراسة (Pang *et al*., 2012) إلى أن المجال المغناطيسي يغير الخواص الكهربائية للماء، وُتعود هذه التغييرات إلى التغيرات في طبيعة الأيونات المشحونة وسرعة أيونات الهيدروجين والسمات المقطبة للجزيئات في الماء تحت تأثير الحقول الكهرومغناطيسية، كما تُظهر دراسة (Sronsri *et al*., 2021) تغيرات في توزيع الإلكترونات، وزاوية الدبل الجزيئي، واستقطاب الجزيئات في الماء المغناطيسي من خلال نتائج الأشعة تحت الحمراء ومطيافية رامان (Raman Spectroscopy)، وُهذا يُشير إلى تأثير المجال المغناطيسي على هيكل الماء وُخصائصه.

3.3.2. التأثير في نقل الحرارة:

إن للمجال المغناطيسي تأثيرً ملحوظ على نقل الحرارة في الماء، حيث يؤدي إلى تحسين توصيلية الحرارة عبر إعادة ترتيب جزيئات الماء وزيادة انتظامها، مما يسرع من عملية التسخين ويحسن الاستقرار الحراري للماء كما يزيد من حرارته النوعية كما في الشكل **(2–6)**، وهذه التأثيرات المفيدة للمجال المغناطيسي تجعله ذا أهمية كبيرة في تطبيقات التسخين والتبريد المركزي والصناعي، ففي هذا الصدد، أكدت دراسة (زياد، **2015**) أن استخدام الماء المعالج مغناطيسياً في الخرسانة أدى إلى تحسن ملحوظ في الخواص الميكانيكية للخرسانة، مما يؤكد ارتباط تأثير المجال المغناطيسي في خصائص النقل الحراري الماء، كما أظهرت دراسة (Shyam *et al*., 2020) أن معدل تبخر قطرة الفلز المغناطيسي يزداد بشكل كبير في وجود مجال مغناطيسي زمني المتغير، مما يُرجّع إلى تعزيز التدفق الداخلي للسائل،

كما توصلت دراسة (Aminfar *et al.*, 2014) أن تطبيق المجال المغناطيسي يسبب تحسيناً في قيم معدل التبخر الحرج لكل من الماء النقي والفيروفلويد، ويُمكن تفسير الأسباب الرئيسية بتغيير خصائص الماء تحت تأثير المجال المغناطيسي، وتحسين نقل الحرارة بواسطة توصيل الحرارة في مرحلة واحدة، وكبح الغليان النووي، وتثبيت تدفق الغليان.



الشكل (2–6): درجة الحرارة مقابل معدل تبخر الماء (dos Santos & Ferreira, 2021)

4.2. النظريات الفيزيائية ذات الصلة بالتبخر والمجال المغناطيسي

1.4.2. قانون نيوتن للتبريد:

ينص على أن معدل تغير درجة حرارة جسم ما يتناسب مع فرق درجة حرارته عــن درجة حرارة المحيط به، ويمكن التعبير عن هذا القانون رياضيًا بالشكل التالي:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{ambient}) \qquad (4-2)$$

حيث:

- $\frac{dT}{dt}$: هو معدل تغير درجة الحرارة.
- T: هي درجة حرارة الجسم.
- $T\ ambient$: هي درجة حرارة المحيط.
- k: ثابت يعتمد على خصائص المادة وظروف البيئة.

وعند تطبيق هذا القانون على عملية تبخر الماء، يمكن اعتبار أن تبخر الماء يعتمد على الفرق بين درجة حرارة الماء ودرجة حرارة الهواء المحيط. حينما يتعرض الماء لمجال مغناطيسي، قد يتأثر معدل تبخره وذلك بسبب تأثيرات المجال على الجزيئات (Auvert, 2023).

ويمكن تلخيص تأثير المجال المغناطيسي في الماء كما يلي (العيد، 2006):

1. **تغيير الخصائص الفيزيائية:** قد يؤدي المجال المغناطيسي إلى تغيير في التركيب الجزيئي للماء، مما قد يؤثر في معدل التبخر.
2. **تقليل التوتر السطحي:** بعض الدراسات تشير إلى أن تعرض الماء لمجال مغناطيسي يمكن أن يقلل من التوتر السطحي، مما يسهل عملية التبخر.
3. **تسريع الحركة الجزيئية:** قد يؤدي المجال المغناطيسي إلى زيادة حركة الجزيئات، مما قد يسهم في زيادة معدل التبخر.

معادلة معدل تبخر الماء في وجود مجال مغناطيسي على النحو التالي:

$$\frac{dT}{dt} = A.(T - T_{ambient}).e^{-B.B_{magnetic}} \qquad (5-2)$$

حيث:

- $\frac{dT}{dt}$: معدل تبخر الماء.
- A: معامل التبخر.
- B: معامل التأثير المغناطيسي.
- $T\ ambient$: شدة المجال المغناطيسي.

وبالتالي، يمكن الاستعانة بقانون نيوتن للتبريد كنموذج أولي لفهم كيفية تأثير الظروف البيئية، بما في ذلك المجالات المغناطيسية، في معدل تبخر الماء. غير أن الاعتماد على هذا النموذج وحده قد لا يكون كافيًا لتفسير جميع الظواهر المرتبطة بهذه العملية؛ إذ تظل الدراسات التجريبية ضرورية لتوفير الأدلة العلمية الدقيقة، والتحقق من صحة النماذج النظرية، ومن ثمّ تطويرها أو تعديلها بما يعكس الواقع التجريبي بشكل أوثق (Chibowski, 2018).

2.4.2. معادلة كلاوزيوس–كلابيرون وتأثير المجال المغناطيسي على نقطة الغليان:

معادلة كلاوزيوس–كلابيرون تستخدم لوصف العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لنظام في حالة توازن بين طورين، مثل السائل والغاز، ويمكن التعبير عن المعادلة كما يلي:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T\Delta V} \qquad (6-2)$$

حيث:

- $\frac{dP}{dT}$: معدل تغير الضغط بالنسبة لدرجة الحرارة.
- L: حرارة التبخر أو التكثيف.
- T: درجة الحرارة المطلقة.
- ΔV: الفرق في الحجم بين الطورين.

وعند تطبيق مجال مغناطيسي، يمكن أن تؤثر عدة عوامل في نقطة الغليان:

1. تغير الضغط: يمكن أن يؤثر المجال المغناطيسي على الضغط داخل السائل، مما ينعكس على نقطة الغليان، حيث أن زيادة الضغط عادةً ما تؤدي إلى رفع نقطة الغليان.
2. تأثيرات مغناطيسية في الجزيئات: المجال المغناطيسي قد يؤثر في حركة الجزيئات داخل السائل، مما قد يغير من خصائص السائل مثل التوتر السطحي، وبالتالي يؤثر في درجة حرارته عند الغليان.
3. استجابة المواد: بعض المواد قد تتفاعل بشكل مختلف مع المجالات المغناطيسية، مما قد يؤدي إلى تغييرات في الحرارة النوعية أو حرارة التبخر، وبالتالي تغيير نقطة الغليان، ويمكن صياغة معادلة كلاوزيوس–كلابيرون مع اعتبار تأثير المجال المغناطيسي على النحو التالي:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T\Delta V} + f(B) \qquad (7-2)$$

حيث:

- $f(B)$: تعبير يعبر عن تأثير المجال المغناطيسي في الضغط أو درجة الحرارة (Magomedov, 2023).

ووفقًا لـ"حوراء طالب" **(2023)**، فإن تعريض الماء لمجال مغناطيسي يؤدي إلى تغييرات ملحوظة في خصائصه الفيزيائية والكيميائية، وتتضمن هذه التغييرات تعديل خصائص التوصيل الكهربائي والعزل الكهربائي، وزيادة نسبة الأكسجين المذاب، وتحسين القدرة على إذابة الأملاح والأحماض، كما تؤثر المغنطة في عمليات التبلور والتبلمر، وتقلل من التوتر السطحي، وتعدل سرعة التفاعلات الكيميائية، فضلاً عن تأثيرها في خصائص التخثر والتبلل ودرجة ليونة الماء، بالإضافة إلى تغييرات في الخصائص البصرية وزيادة النفاذية، بالإضافة إلى ذلك تشير الدراسة إلى أن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء قد تتعرض للتغيير أو التفكك نتيجة المغنطة، وأن هذا التفكك يؤدي إلى مجموعة من التأثيرات، تشمل امتصاص الطاقة، وتقليل مستوى الترابط بين أجزاء الماء، وزيادة التأثر بالمجال الكهربائي، بالإضافة إلى التأثير في تحلل البلورات (طالب، **2023**)، ويتضح أن للمعالجة المغناطيسية للماء تأثيرات متعددة ومهمة في خصائصه الفيزيائية والكيميائية، وهذا ما أكدته دراسة (Tahir & Karim, 2010) التي وجدت اختلافات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء الممغنط مقارنة بالماء غير الممغنط، حيث أشارت الدراسة إلى أن الماء الممغنط يزيد من ذوبانية الأملاح والمعادن في التربة، مما يسهل امتصاص العناصر الغذائية من قبل النباتات، فضلاً عن تحسين قدرة الجذور على امتصاص الماء، مما يعزز النمو والإنتاجية، بالإضافة إلى إمكانية تغييرات في الخصائص الكيميائية للماء مثل التوتر السطحي، مما يسهل عملية النقل داخل النبات.

3.4.2. تطبيقات المجالات المغناطيسية في معالجة الماء

تشير الأبحاث إلى أن للماء المغناطيسي العديد من التطبيقات، تتمثل في:

1. تساعد في تقليل الشوائب والملوثات في المياه، بتغيير الخصائص الطبيعية للماء مما يجعله قادراً على التخلص من الجزيئات الملوثة والشوائب العالقة، مما يسهم في تحسين نقاء المياه وزيادة جودتها، كما يقلل الماء الممغنط من الرواسب الكلسية والتآكل في الأنابيب والمعدات المائية ، فعندما تتعرض المياه للمجال المغناطيسي، تتغير تركيبة الكالسيوم والمعادن الأخرى مما يحد من ترسبها على الأسطح وتآكل الأنابيب، كما أن هذه التقنية تساعد في القضاء على البكتيريا والطحالب الضارة في المياه، من

خلال التأثير في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه مما يجعلها غير مواتية لنمو الكائنات الحية الدقيقة الضارة، وبذلك تسهم المياه المغناطيسية في الحفاظ على نظافة المياه وسالمتها (معيتيق *وآخرون*، **2021**).

2. يعزز الماء المغناطيسي نمو المحاصيل والنباتات بشكل أفضل عن طريق تحسين امتصاص المغذيات، ويزيد المحتوى المعدني ويعزز إنتاجية للمحاصيل الزراعية، وصحة وقوة النباتات، وقد وجدت الدراسة أن الماء الممغنط يعزز أداء نمو الشتلات في البامية (الحلفي *وآخرون*، **2021**)، من خلال التأثير على الخصائص المورفولوجية والوزن الجاف، تشير دراسة (Karim & Tahir, 2010) إلى أن معالجة الماء بالمجال المغناطيسي تحسن بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء، مما يعزز كفاءة استخدامه في الري ويجعل الماء الممغنط خيارًا فعالًا لتحسين نمو المحاصيل وزيادة الإنتاجية (Tahir & Karim, 2010).
3. تشير الأبحاث أن الماء المغناطيسي يحسن صحة الحيوانات، خاصة في إنتاج الحليب للأبقار، كما يعزز النمو والمناعة في فراخ اللحم، ويعزز نمو الأسماك وصحتها في المزارع السمكية، كما يحسن معدلات الخصوبة والنمو لدى الحيوانات (شاكير *وآخرون*، **2011**).
4. يعتبر استخدام الماء المغناطيسي في صناعة الخرسانة والبناء من التطورات المهمة في هذا المجال، فهو يسهم في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة من خلال تعزيز المقاومة والتماسك، بالإضافة إلى تسريع عملية التصلب، كما أنه يلعب دورًا مهمًا في الحد من تآكل المواد الخرسانية وحماية الحديد المسلح عبر تقليل الرواسب الكلسية (معيتيق *وآخرون*، **2021**)، وبالإضافة إلى ذلك فإن استخدام الماء المغناطيسي يعزز فعالية المواد المضافة للخرسانة، مما يساعد في الحفاظ على قوة ومتانة الخرسانة لفترات زمنية أطول، ونتيجة لذلك فإن استخدام الماء المغناطيسي في صناعة الخرسانة والبناء يؤدي إلى زيادة العمر الافتراضي للمنشآت الخرسانية الأمر الذي يجعله أحد أهم التطورات في هذا المجال، وعززت المياه الممغنطة التي تم إنشاؤها باستخدام جهاز مغناطيسي (**10000** G) ، قابلية تشغيل الخرسانة بنسبة **10**٪ وقللت استخدام المياه بنسبة **5**٪، مما أدى إلى زيادة **20**٪ في قوة الضغط (Kumar *et al.*, 2014).

5. أظهرت الدراسات أن للماء الممغنط تطبيقات طبية واعدة، فقد يستخدم الماء المغناطيسي كعلاج مساعد في علاج السرطان، حيث قد يحسن فعالية العلاجات التقليدية، كما قد يكون له تأثير على عمليات الشفاء الحيوية في الجسم، فيسهم في تسريع شفاء الجروح والإصابات بشكل عام، وللماء المغناطيسي تأثيرات محتملة في تحسين الصحة العامة أيضًا (الموصلي، **2013**).

5.2. عملية التبخر (Evaporation):

التبخر هو أحد أهم العمليات الفيزيائية في دورة المياه الطبيعية، ويلعب دورًا حيويًا في توازن النظم البيئية والمناخية، وهو عملية فيزيائية تحدث حيث يتحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، هذه العملية تحدث على الأسطح المعرضة للهواء مثل التربة والمجاري المائية والبحيرات والبحار والمحيطات، حيث ينتقل بخار الماء إلى الغلاف الجوي المحيط.

ويعرف التبخر بأنه "عملية فيزيائية تتحول فيها المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند درجة حرارة أقل من درجة غليانها"، في سياق الهيدرولوجيا يشير التبخر إلى تحول الماء من الحالة السائلة إلى بخار ماء في الغلاف الجوي. تحدث هذه العملية بشكل طبيعي من الأسطح المائية، ومن التربة والنباتات (Tamta *et al.*, 2018).

وعلى المستوى الجزيئي، يحدث التبخر عندما تكتسب جزيئات الماء في السطح طاقة كافية للتغلب على قوى التماسك بين الجزيئات وقوة الجذب السطحي، هذه الطاقة تأتي عادة في شكل حرارة، سواء من أشعة الشمس مباشرة أو من الهواء المحيط، ولفهم هذه العملية بشكل أعمق، سنركز على ثلاثة جوانب رئيسية (Nagata *et al.*, 2015):

الطاقة الحركية للجزيئات: تلعب درجة الحرارة دورًا حاسمًا في عملية التبخر من خلال تأثيرها في الطاقة الحركية لجزيئات الماء، مع ارتفاع درجة الحرارة، تزداد الطاقة الحركية للجزيئات، مما يؤدي إلى زيادة سرعتها وحركتها العشوائية، فعندما تكتسب بعض الجزيئات طاقة كافية للتغلب على قوى التماسك بين الجزيئات وقوة الجذب السطحي، تتمكن من الهروب من السطح وتتحول إلى الحالة الغازية (كنجو، **2010**).

الروابط الهيدروجينية: تلعب الروابط الهيدروجينية دورًا مهمًا في تماسك جزيئات الماء. هذه الروابط هي قوى جذب كهربائية ضعيفة بين ذرة الهيدروجين في جزيء ماء وذرة الأكسجين في جزيء ماء مجاور (بن ذيب وبن خديم، **2020**)، ويمكن للمجال المغناطيسي التأثير في هذه الروابط من خلال تغيير توجيه الجزيئات وبالتالي تعديل قوة الروابط الهيدروجينية، وقد يؤدي هذا التأثير إلى تغيير في خصائص الماء، بما في ذلك معدل التبخر.

ضغط بخار الماء: ضغط بخار الماء هو الضغط الذي يمارسه بخار الماء في حالة توازن مع الماء السائل عند درجة حرارة معينة، ويرتبط ضغط البخار ارتباطًا وثيقًا بعملية التبخر، عندما يكون ضغط البخار فوق سطح الماء أقل من ضغط البخار المشبع عند درجة الحرارة المحيطة، يحدث التبخر بشكل تلقائي، كلما زاد الفرق بين ضغط البخار الفعلي وضغط البخار المشبع، زاد معدل التبخر (غدامسي ووناس، **2018**).

وقدمت دراسة (Ansari *et al.*, 2014) استعراضًا شاملاً لفعالية تقنية معالجة المياه المغناطيسية في مجال تنقية المياه وتنقية المياه الصناعية، وقد خلصت الدراسة إلى أن هذه التقنية تظهر نتائج واعدة في تقليل تكوين الرواسب والمواد الكيميائية في المياه، وتُعد بديلاً أكثر كفاءة وأمانًا من الطريقة الكيميائية التقليدية.

وأظهرت دراسة (Hołyst *et al.*, 2015) أن معادلة هيرتز-كنودسن (HK) المستخدمة للتنبؤ بتدفق تبخر السوائل قد لا تصف بشكل دقيق آلية التبخر، حيث وجدت أن تدفق التبخر المحسوب من خلال محاكاة ديناميكا جزيئية كان أكبر بثلاث مرات ونصف من التدفق المحدد بواسطة معادلة HK، وهذا يشير إلى الحاجة إلى مزيد من البحث لفهم آلية التبخر بشكل أفضل.

1.5.2. العوامل المؤثرة على معدل التبخر:

يتأثر معدل التبخر بعدة عوامل بيئية ومناخية، وفهم هذه العوامل ضروري لتفسير وتوقع التغيرات في معدلات التبخر، كما إن القوة المحركة والفعّالة التي تدفع عملية التبخر هي الفرق بين ضغط بخار الماء على سطح التبخر وضغط الهواء المحيط به، وعندما تستمر عملية التبخر، يصبح الهواء المحيط بسطح التبخر مشبعًا بالرطوبة، وكلما ازداد الشبع، تقل قدرة الهواء على استيعاب المزيد من بخار الماء، مما يؤدي إلى تباطؤ عملية التبخر تدريجيًا،

وفي النهاية يصل الهواء المحيط إلى درجة التشبع الكامل ببخار الماء، تتوقف عملية التبخر تمامًا، ما لم يتم نقل الهواء المشبع إلى الغلاف الجوي الأوسع، مما يخفف الضغط على سطح التبخر ويسمح بمزيد من التبخر، وفيما يلي العوامل الرئيسية المؤثرة في معدل التبخر:

1. **درجة الحرارة:** تلعب درجة الحرارة دورًا مهمًا في التأثير على معدل تبخر الماء، كما هو موضح في العديد من الأوراق البحثية، تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى زيادة الطاقة الحركية لجزيئات الماء، مما يزيد من احتمالية انتقالها إلى الحالة الغازية، أظهرت الدراسات أن مجرد ارتفاع درجة الحرارة بمقدار **10** درجات مئوية يمكن أن يؤدي إلى زيادة كبيرة تصل إلى **50**٪ في معدل تبخر الماء، بالإضافة إلى ذلك، يتم التأكيد على تأثير درجة الحرارة في التبخر من خلال حقيقة أن درجة حرارة السائل والمناطق المحيطة به هي عوامل رئيسية تؤثر في معدل التبخر (غدامسي ووناس، **2018**)، تؤكد هذه العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التبخر على أهمية التحكم في درجة الحرارة في العمليات التي تنطوي على التبخر.
2. **الرطوبة النسبية:** يتأثر معدل التبخر للماء عكسياً بمستوى الرطوبة النسبية في الهواء المحيط. عندما تنخفض الرطوبة النسبية، تزداد قدرة الهواء على استيعاب المزيد من بخار الماء، مما يسرع عملية التبخر، في المقابل عند ارتفاع الرطوبة النسبية، يصبح الهواء مشبعاً ببخار الماء، مما يبطئ عملية التبخر، علاوة على ذلك، تؤثر درجة حرارة الهواء في الرطوبة النسبية، فانخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة الرطوبة النسبية، بينما ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى نقصها، وهذا يفسر السبب وراء التناقص في معدل التبخر عند انخفاض درجة الحرارة والزيادة عند ارتفاعها، طالما أن الهواء لم يصل إلى درجة التشبع ببخار الماء (محمد، **2022**).
3. **سرعة الرياح:** تلعب الرياح دورًا مهمًا في زيادة معدل التبخر للماء من خلال إزالة الهواء المشبع ببخار الماء فوق السطح المتبخر واستبداله بهواء أقل رطوبة، كما أظهرت دراسة أن زيادة سرعة الرياح بمقدار **1** m/s يمكن أن تؤدي إلى زيادة معدل التبخر بنسبة تتراوح بين **10%** إلى **20%** اعتمادًا على الظروف المناخية الأخرى، وفي دراسة (Mugisidi & Heriyani, 2023)، أدت سرعات الرياح العالية إلى زيادة معدلات التبخر، حيث لوحظ أعلى معدل عند 5 m/s.

4. **الضغط الجوي:** يعد الضغط الجوي أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في عملية التبخر، فكلما انخفض الضغط الجوي، زادت سهولة انتقال جزيئات الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، ويرجع ذلك إلى أن انخفاض الضغط الجوي يقلل من القوة الضاغطة على سطح السائل، مما يسمح لجزيئات الماء بالتغلب على قوى التماسك السطحي بسهولة أكبر، وتظهر هذه العلاقة العكسية بين الضغط الجوي ومعدل التبخر بوضوح في المناطق المرتفعة، حيث يكون الضغط الجوي أقل مقارنة بالمناطق المنخفضة، ففي المرتفعات، تزداد معدلات التبخر بشكل ملحوظ نتيجة لانخفاض الضغط الجوي، وقد أظهرت الدراسات أن ارتفاع 1000m عن مستوى سطح البحر يمكن أن يؤدي إلى زيادة معدل التبخر بنسبة تصل إلى **10%** في ظروف معينة (Yang *et al.*, 2021).
5. **نوع السطح وخصائصه:** تلعب خصائص السطح المتبخر دورًا مهما في تحديد معدل تبخر الماء، فقد أظهرت الدراسات أن لون السطح يؤثر بشكل كبير في امتصاص الإشعاع الشمسي، حيث تمتص الأسطح الداكنة كميات أكبر من الطاقة الشمسية مقارنة بالأسطح الفاتحة، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة الأسطح الداكنة بشكل أسرع، مما يؤدي إلى زيادة معدل التبخر منها، كما تؤثر طبيعة السطح في معدل التبخر. فالأسطح الخشنة توفر مساحة سطحية أكبر للتبخر مقارنة بالأسطح الملساء، مما يزيد من معدل التبخر، كما أن الأسطح الخشنة يمكن أن تزيد معدل التبخر بنسبة تصل إلى **30%** مقارنة بالأسطح الملساء في ظروف متماثلة (Davarzani *et al.*, 2018).
6. **الإشعاع الشمسي:** يعد الإشعاع الشمسي العامل الرئيسي المؤثر في عملية التبخر، حيث يوفر الطاقة اللازمة لتحويل الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وقد أظهرت الدراسات وجود علاقة طردية قوية بين شدة الإشعاع الشمسي ومعدل التبخر، وتبين أن زيادة شدة الإشعاع الشمسي بنسبة **10%** أدت إلى ارتفاع معدل التبخر بنسبة تتراوح بين **8%** و**12%** في ظروف مختلفة، كما وجد أن المناطق ذات الإشعاع الشمسي المرتفع تشهد معدلات تبخر أعلى بنسبة تصل إلى **40%** مقارنة بالمناطق ذات الإشعاع المنخفض (عزيز، **2022**).

يؤثر التغير الموسمي في شدة الإشعاع الشمسي على معدلات التبخر بشكل كبير، ففي فصل الصيف، تكون شدة الإشعاع الشمسي في ذروتها، فتزداد معدلات التبخر بشكل ملحوظ مقارنة بفصل الشتاء، ووفقًا لدراسة (إبراهيم، **2016**)، فإن كثافة الإشعاع الشمسي على الأسطح الرأسية تعتمد على التوجيه والزاوية والوقت من السنة، هذه العوامل تؤثر بدورها في معدل التبخر من هذه الأسطح، ووجدت دراسة (Csemány & Józsa, 2021) أن معدل تبخر قطرات n–ألكان C2-C9 في الهواء يعتمد على الضغط ودرجة حرارة البيئة المحيطة، بالإضافة إلى حجم القطرات نفسها.

2.5.2. أهمية دراسة معدلات التبخر

تكتسب دراسة معدلات التبخر أهمية كبيرة في العديد من المجالات العلمية والتطبيقية، ومن أبرز هذه المجالات (المنتدى العربي للبيئة والتنمية، **2019**):

1. **إدارة الموارد المائية:** تعد معرفة معدلات التبخر ضرورية لتخطيط وإدارة الموارد المائية بكفاءة، فهي تساعد في تقدير الفاقد من الماء من الخزانات والسدود والبحيرات، مما يسمح بتحسين استراتيجيات تخزين المياه وتوزيعها.
2. **الزراعة والري:** تلعب معدلات التبخر دورًا حاسمًا في تحديد احتياجات المحاصيل من المياه وتصميم أنظمة الري الفعالة، فهم هذه المعدلات يساعد المزارعين على تحسين كفاءة استخدام المياه وزيادة إنتاجية المحاصيل.
3. **دراسات تغير المناخ:** تعد التغيرات في معدلات التبخر مؤشرًا مهمًا على تغير المناخ، دراسة هذه التغيرات تساعد العلماء على فهم وتوقع التأثيرات المستقبلية لتغير المناخ في الدورة الهيدرولوجية والنظم البيئية.
4. **الهندسة والبناء:** تؤثر معدلات التبخر في تصميم وأداء العديد من المنشآت الهندسية مثل السدود وأنظمة الصرف، فهم هذه المعدلات ضروري لضمان استدامة وكفاءة هذه المنشآت.
5. **الأرصاد الجوية والتنبؤ بالطقس:** تعد معدلات التبخر عنصرًا أساسيًا في نماذج التنبؤ بالطقس والمناخ، فهي تؤثر في تكون السحب وهطول الأمطار وديناميكيات الغلاف الجوي.

وقد أكدت منظمة (الإسكوا، **2011**) على أهمية فهم دورة التبخر الأرضي العالمية، حيث وجدت أن هذه الدورة تظهر توزيعًا أحادي الوسيط مع أعلى قيمة في شهر يوليو وأقل قيمة في شهر يناير، وهذه المعلومات مهمة لفهم الدورة الهيدرولوجية العالمية وتأثيرات تغير المناخ.

3.5.2. طرق قياس معدل التبخر:

تتنوع طرق قياس معدل التبخر بين الطرق المباشرة وغير المباشرة، ولكل منها مزاياها وتحدياتها. فيما يلي أهم الطرق المستخدمة لقياس معدل التبخر:

1. **أحواض التبخر:** تعد من أكثر الطرق شيوعًا لقياس التبخر المباشر. يتم استخدام حوض معدني معياري مملوء بالماء ويتم قياس النقص في مستوى الماء يوميًا. الحوض الأكثر استخدامًا هو حوض التبخر من النوع A الذي طورته إدارة الأرصاد الجوية الأمريكية (غطفان وحيدر، **2013**).
2. **جهاز قياس التبخر (Evaporimeter):** هو جهاز يستخدم لقياس معدل التبخر من سطح مائي صغير محمي من الرياح والأمطار، يتميز بدقته العالية ولكنه يتطلب صيانة منتظمة (سوطه وفقيه، **2021**).
3. **الطرق الحسابية:** تعتمد على معادلات رياضية لتقدير معدل التبخر باستخدام البيانات المناخية المتاحة، من أشهر هذه الطرق معادلة بنمان–مونتيث التي تعتمدها منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) لحساب التبخر–النتح المرجعي (دوغوظ وآخرون، **2019**).
4. **تقنيات الاستشعار عن بعد:** تستخدم صور الأقمار الصناعية وتقنيات الاستشعار عن بعد لتقدير معدلات التبخر على نطاق واسع، هذه الطرق مفيدة بشكل خاص في المناطق التي يصعب الوصول إليها أو التي تفتقر إلى محطات الرصد الأرضية (بن ساسي وعبايدي، **2018**).
5. **أجهزة قياس التدفق الحراري:** تقيس هذه الأجهزة التبادل المباشر لبخار الماء بين السطح والغلاف الجوي، وهي من أدق الطرق لقياس التبخر–النتح الفعلي، ولكنها مكلفة ومعقدة تقنيًا (بن سليمان وشلغام، **2018**).

6. **الموازنة المائية:** تعتمد هذه الطريقة على حساب الفرق بين كمية المياه الداخلة والخارجة من نظام مائي معين (مثل بحيرة أو حوض مائي) خلال فترة زمنية محددة، الفرق يمثل كمية المياه المفقودة بالتبخر (جمعة وبركة، **2024**).

وقد استعرضت دراسة (Tanny & Cohen, 2008) أحدث التقنيات المستخدمة في قياس النتح والتبخر، بما في ذلك أنظمة قياس تدفق النسغ، أنظمة التباين الموضعي، قياسات توازن المياه، قياسات مسامية الأوراق، والقياسات المناخية، كما أشارت الدراسة إلى استخدام نماذج محاكاة مختلفة مثل نموذج MODFLOW ونموذج Penman-Monteith ونماذج التعلم الآلي ونماذج الاستشعار عن بعد.

أما دراسة (Oroud, 2022) فقد استخدمت بيانات الأقمار الصناعية، تحديدًا الحزمة الحرارية **10** من القمر الصناعي لاندسات **8**، لتقدير درجة حرارة سطح المياه في خليج العقبة واستخدام هذه البيانات لتقدير معدل التبخر باستخدام معادلة دالتون:

$$E = f(u) \times (es - ea) \qquad (8\text{-}2)$$

حيث:

E = معدل التبخر (mlm/day أو mlm / h)

f(u) = دالة السرعة الريحية

es = ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة سطح الماء (hPa أو mb)

ea = ضغط البخار الفعلي في الهواء (hPa أو mb)

6.2. مياه الآبار:

هي المياه الجوفية المستخرجة من باطن الأرض عبر حفر آبار، تنقسم إلى نوعين رئيسيين، الآبار الضحلة: تصل لعمق أقل من 30m، وتستخرج المياه من الطبقات القريبة من السطح، والآبار العميقة: تتجاوز30m ، وتصل إلى طبقات مائية أعمق وأكثر استقرارًا، وتختلف جودة المياه وكميتها حسب نوع البئر وخصائص الطبقة المائية، كما تعد مياه الآبار مصدراً مهما للمياه العذبة في العديد من المناطق، خاصة في المناطق التي تفتقر إلى مصادر المياه السطحية (مصطفى، *وآخرون*، **2021**)، ومع ذلك تختلف جودة هذه المياه بشكل كبير

من بئر إلى آخر ومن منطقة إلى أخرى، وذلك بسبب التنوع الكبير في الصخور والتربة التي تمر بها المياه الجوفية، وكذلك بسبب الأنشطة البشرية التي قد تؤثر في جودتها، تعد دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار أمراً بالغ الأهمية لتقييم جودتها وصلاحيتها للاستخدامات المختلفة، مثل الشرب والري والصناعة كما يساعد ذلك على فهم العمليات الجيولوجية والهيدروجيولوجية التي تؤثر في تكوين المياه الجوفية وتوزيعها (النقيب، *وآخرون*، **2019**).

1.6.2. الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار

تُعد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، مثل درجة الحرارة والطعم واللون ودرجة الحموضة والتعكر والصلابة، مؤشرات مهمة تستخدم لتقييم جودة مياه الآبار للاستهلاك البشري (Ezeh *et al.*, 2021).

1.1.6.2. الخصائص الفيزيائية:

تشمل الخصائص الفيزيائية لمياه الآبار مجموعة من القياسات التي يمكن استخدامها لتحديد جودتها، ومن أهم هذه الخصائص:

1. **الحرارة:** تتأثر حرارة المياه الجوفية بدرجة حرارة الصخور المحيطة بها وعمق البئر، عموماً، تكون المياه الجوفية أبرد من درجة حرارة الهواء، ولكنها قد ترتفع حرارتها في المناطق البركانية أو بالقرب من مصادر حرارية أخرى، حيث تتأثر درجة حرارة المياه الجوفية بالصخور المحيطة وعمق البئر (Wang, 2023).
2. **اللون:** المياه النقية عادة ما تكون عديمة اللون، وغالبًا ما تتأثر مياه الآبار بالمعادن والمواد العضوية، وقد تكتسب هذه المياه ألواناً مختلفة بسبب وجود مواد معدنية مذابة فيها، مثل الحديد الذي يسبب اللون الأصفر أو البني، أو الطحالب التي تسبب اللون الأخضر، ويشير "Sinurat" إلى أن استخدام تقنية الترشيح بالتهوية يقلل بشكل فعال من مستويات الحديد في مياه الآبار، ويعالج مشاكل اللون التي تسببها المعادن مثل الحديد (Sinurat *et al.*, 2024)

3. **الرائحة:** يمكن أن تختلف مياه الآبار في اللون، وغالبًا ما تتأثر بالمعادن والمواد العضوية الموجودة، قد يكون للمياه الجوفية روائح مختلفة بسبب وجود مواد عضوية أو كيميائية مذابة فيها، مثل غاز الكبريت الذي يسبب رائحة البيض الفاسد (عون وكاموكا، **2019**).
4. **الشفافية:** تعبر الشفافية عن قدرة المياه على نقل الضوء، المياه النقية تكون شفافة تماماً، ولكن قد تقل شفافية مياه الآبار بسبب وجود المواد العالقة أو المذابة فيها، ويمكن أن تتأثر شفافية مياه الآبار بعوامل مثل الجسيمات العالقة والمواد الذائبة وظروف التدفق (كباس وصلوح، **2020**).
5. **الصلابة:** هي مقياس لقدرة المياه على تكوين الرواسب، تزيد صلابة المياه الجوفية بزيادة تركيز الأملاح المعدنية، مثل الكالسيوم والمغنيسيوم، وتسهم الأنشطة الزراعية في هذه الزيادة، مما يؤثر في جودة المياه (عمر وآخرون، **2023**).

2.1.6.2. الخصائص الكيميائية

تؤثر الخصائص الكيميائية لمياه الآبار بشكل كبير في صلاحيتها للاستخدامات المختلفة، ومن أهم هذه الخصائص:

الـ pH: هو مقياس لحموضة أو قلوية الماء، المياه النقية تكون محايدة ($pH = 7$)، بينما المياه الحمضية تكون أقل من **7** والقلوية أكبر من **7**، وتتراوح درجة حموضة مياه الآبار عادةً بين **6.5** و**8.5**، وهو أمر بالغ الأهمية لتحديد حموضتها أو قلويتها (عون وكاموكا، **2019**).

الموصلية الكهربائية: تعبر عن قدرة الماء على توصيل التيار الكهربائي، وتزداد الموصلية الكهربائية بزيادة تركيز الأملاح الذائبة في الماء، تعد الموصلية الكهربائية لمياه الآبار معيارًا قيمًا للدراسات الهيدروجيولوجية، حيث توفر معلومات فورية عن تغيرات جودة المياه وتساعد في توصيف المياه الجوفية (Post *et al.*, 2018).

الأملاح الذائبة والمحتوى المعدني: تشمل مجموعة كبيرة من الأملاح المعدنية، مثل الكالسيوم، المغنيسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، الكلوريد، الكبريتات، والبيكربونات، تركيز هذه الأملاح يؤثر على طعم الماء وصلابته، المعادن الشائعة الموجودة في مياه الآبار الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم. يمكن أن يؤثر تركيز هذه المعادن في صلابة المياه (عون وكاموكا، **2019**).

البكتيريا والمواد العضوية: تتضمن المواد العضوية الطبيعية والصناعية، هذه المواد قد تكون مصدرًا للتلوث البكتيري في المياه، فوجود المواد العضوية في المياه الجوفية يؤدي إلى تواجد أنواع مختلفة من البكتيريا، وهذه البكتيريا قد تكون ضارة أو نافعة، اعتمادًا على نوعها وكميتها في المياه، يجب مراقبة وجود المواد العضوية في المياه بشكل دوري، للتأكد من خلوها من البكتيريا الخطرة، والمحافظة على نوعية المياه المستخدمة لأغراض الشرب والاستخدامات الأخرى. (العيساوي، **2020**).

المواد الكيميائية: قد تحتوي المياه الجوفية على مواد كيميائية مختلفة، مثل المبيدات الحشرية والأسمدة، والتي قد تنتقل إليها من التربة أو من الأنشطة البشرية، وأظهرت الدراسات أن الأنشطة الزراعية تسهم بشكل كبير في تلوث المياه الجوفية، حيث تعد الأسمدة الكيماوية ونيتروجين التربة من المصادر الرئيسية لتلوث النترات في المناطق الزراعية، بينما تسهم مياه الصرف الصحي والأمطار الجوية في مستويات النترات في المناطق الصناعية (Zhang *et al.*, 2018).

2.6.2. التحديات المرتبطة بإدارة مياه الآبار:

تُعد إدارة الموارد المائية مسارا منهجيا يهدف إلى التنمية المستدامة من خلال تخصيص وتوزيع وإدارة الموارد المائية المتاحة، سواء التقليدية أو غير التقليدية حالياً ومستقبلاً، وتقييم الطلب عليها وترشيد واستدامة استخداماتها في مختلف القطاعات (المدنية، الصناعية، الزراعية، السياحية) بشكل منسق، بما يضمن توفير المياه بالكمية والنوعية المناسبة لكل نشاط تنموي في الوقت والمكان المناسبين، وذلك من أجل تعظيم الرفاه الاقتصادي والاجتماعي مع المحافظة على البيئة، وتواجه إدارة الموارد المائية بما في ذلك مياه الآبار عددًا من التحديات وخاصةً على المستوى المحلي من أبرزها التي تم الاشارة إليها في دراسة (نصر والمايل، **2017**):

- غياب السياسات وخطط العمل المناسبة لمتابعة وتقييم قطاع الموارد المائية.
- غياب إطار فعال للمتابعة والتقييم؛ كما أن البيانات المجمعة غير مهيأة للمشاركة بين القطاعات المختلفة.

- المعلومات عادةً ما تكون محصورة داخل المؤسسات الفردية، خاصةً المتعلقة بإمدادات المياه والصرف الصحي.
- الحاجة إلى المزيد من المهارات للتعامل مع إدارة قواعد البيانات والتقنيات الحديثة للمعلومات واتصالات الرصد والمتابعة.
- وجود فجوة كبيرة في البيانات والمعلومات الخاصة بقطاع الموارد المائية.

وحسب ما ذكر "Eichholz" تُعدّ إدارة مياه الآبار تحدياً مهماً في المناطق الساحلية، تؤدي إلى ضغط كبير على هذه الموارد الثمينة (Abd-Elaty & Polemio, 2022):

- تملح المياه الجوفية: هو أحد أهمّ التحديات في المناطق الساحلية، تقلّل زيادة ملوحة المياه من جودتها وتجعلها غير صالحة للاستخدام.
- النمو السكاني السريع: يؤدي النمو السكاني إلى زيادة الطلب على المياه، مما يزيد الضغط على الموارد المائية المتاحة.
- التغيرات المناخية: يُفاقم تغير المناخ الوضع سوءاً من خلال زيادة شدة الجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر، مما يؤثر سلباً في الموارد المائية.
- الاستخدام غير المنتظم للمياه: يؤدي الاستخدام غير المنظم للمياه الجوفية إلى نضوبها بسرعة ويزيد من مخاطر تملحها.
- افتقار البيانات والمعلومات: غالباً ما تكون بيانات المياه الجوفية غير كافية، مما يجعل من الصعب اتخاذ قرارات فعالة بشأن إدارة هذه الموارد.

7.2. تأثير المجال المغناطيسي في خصائص الماء

كان تأثير المجال المغناطيسي على خصائص الماء موضوعًا مثيرًا للاهتمام في العديد من الدراسات البحثية، فقد قام (Alwediyani *et al.*, 2015) بدراسة التفاعلات الجزيئية في الأنظمة غير المتبلورة من Indomethacin (IMC) في Poly(vinylpyrrolidone) (PVP) باستخدام محاكاة الديناميات الجزيئية (MD)، ووجدت الدراسة أن وجود PVP أدى إلى انخفاض في الحركة الجزيئية وتشكيل روابط هيدروجينية بين IMC-PVP، مما أثر في قابلية ذوبان IMC وسلوكه في التبلور، كان هذا التأثير المضاد للاحتكاك لـ PVP ضروريًا

لفهم عمليات الفصل الطوري والتبلور في تشتت الأدوية غير المتبلورة، كما قام (Alsaidi, & Thiemann, 2025) بدراسة درسوا فيها قابلية ذوبان نشأ جلوس في المُذيبات المصنوعة من مواد طبيعية (NADESs)، ووجدوا أن التفاعلات الرابطة الهيدروجينية بين النشا وNADESs ولعبت دورًا أساسيًا في قابلية ذوبان النشأ، وكشفت دراسات الديناميات الجزيئية عن أهمية الروابط الهيدروجينية المحددة في تحديد قابلية ذوبان النشأ في مختلف NADESs، مما يسلط الضوء على إمكانات المُذيبات الخضراء في تحسين قابلية ذوبان النشا، كما درس (Krasinskyi et al., 2017) الخصائص الريولوجية (Rheology) لأنظمة Poly(vinyl alcohol)–water تحت المجالات المغناطيسية، لاحظوا تغييرات في اللزوجة ومورفولوجيا الجسيمات فوق الجزيئية. أدى تطبيق المجال المغناطيسي إلى تغييرات في اللزوجة النسبية للنظام، مما يشير إلى تأثير المجالات المغناطيسية في خصائص المحاليل المائية.

وتناول (Laith *et al.*, 2014) تأثير التعرض للمجال المغناطيسي في خصائص مياه الصرف الصحي من مصانع الزيتون (OMW) ومحتواها العضوي. كشفت الدراسة أن المجالات المغناطيسية يمكن أن تغير الخصائص الكيميائية الفيزيائية لـ OMW، مما يقلل من الطلب الكيميائي للأكسجين (COD) ومحتوى الفينول الكلي بينما يزيد من التوصيل الكهربائي، وأظهر تحليل كروماتوجرافيا الغازات – مطياف الكتلة (GC–MS) تغييرات في التركيب العضوي لـ OMW بسبب التعرض للمجال المغناطيسي، مما يشير إلى تطبيقات محتملة في معالجة مياه الصرف الصحي، كما أجرى (Tao *et al.*, 2024) تجربة حقلية لاستكشاف تأثيرات الري بالتنقيط بالمياه المعالجة مغناطيسياً جنبًا إلى جنب مع الأسمدة العضوية المجهرية في خصائص التربة وإنتاج الزعرور، وأظهرت الدراسة أن تطبيق الأسمدة العضوية المجهرية أدى إلى تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة ونشاط الإنزيمات وإنتاجية الزعرور وجودته، وأظهر الجمع بين المياه المعالجة مغناطيسياً والأسمدة العضوية نتائج واعدة في تعزيز الإنتاج الزراعي وتحسين التربة، ومن جانب آخر درس (Aich *et al.*, 2024) التحكم في الحمل الحراري الطبيعي في تجويف مكعب مليء بسوائل نانوية من الجرافين والماء تحت تأثير المجال المغناطيسي وعائق على شكل شجرة، حيث وجدت الدراسة أن إضافة جسيمات الجرافين النانوية حسنت كفاءة نقل الحرارة، بينما أثر

المجال المغناطيسي وشكل العائق في أنماط تدفق السوائل والسلوك الحراري داخل التجويف، مما وفر رؤى قيمة في تحسين استراتيجيات التحكم في نقل الحرارة للتطبيقات في تبريد الأجهزة الإلكترونية وحلول إدارة الحرارة.

1.7.2. آلية تأثير المجال المغناطيسي في جزيئات الماء:

إن آلية تأثير المجال المغناطيسي في جزيئات الماء كانت محور اهتمام الباحثين في مختلف المجالات، وقد قام (Dey., *et al.*, 2007) باستكشاف تكوين معقدات نقل الشحنة وأزواج الأيونات الجذرية في وجود مجال مغناطيسي في مخاليط أسيتونيتريل–ماء، ولاحظ الباحثون تأثيراً مغناطيسياً بارزاً في كلا الحالتين، والذي أرجعوه إلى البنية المستوية الممتدة للجزيئات والترابط الهيدروجيني بين الجذور المتوسط بواسطة جزيئات الماء، وهذه الملاحظة في وسط قليل اللزوجة تشير إلى آلية التداخل الدقيق ذرية في اللعب، مع اختلافات في السلوك تُنسب إلى معدلات تبادل الإلكترونات، وقام (Pang & Shen, 2013) بدراسة الخصائص الكهرومغناطيسية للماء تحت تأثير المجال المغناطيسي، ووجدا أن المجال المغناطيسي غير الثابت الكهربائي والمقاومة والتوصيلية الكهربائية للماء، وأشارت هذه الدراسة إلى أن التوصيلية الكهربائية للماء الممغنط زادت مع التردد ووقت المغنطة، بينما انخفض الثابت الكهربائي والمقاومة، وقد أُرجعت هذه التغييرات إلى التغييرات في الأيونات المشحونة وسرعة أيون الهيدروجين وعزوم الثنائيات لجزيئات الماء تحت تأثير المجالات الكهرومغناطيسية، كما درس (Pan *et al.*, 2024) تأثير المجالات المغناطيسية في تكوين الهيدرات في مختلف المحاليل الأيونية وأنظمة الترسبات، ووجدوا أن المجال المغناطيسي زاد من درجة حرارة تعادل الطور لهيدرات CO_2، مما عزز تكوين الهيدرات من خلال زيادة نشاط الماء وتضعيف أغلفة الترطيب الأيونية. ومع ذلك، أعاق وجود الترسبات ترويج المجال المغناطيسي لتكوين الهيدرات بسبب انخفاض نشاط الماء وتعزيز الشعرية، كما قدم (Karam & Al-Shamali, 2013) تقنية جديدة تستخدم مياه معالجة مغناطيسياً لتحسين خصائص الخرسانة، ومن خلال تمغنط المياه، لاحظ الباحثون انخفاضاً في صلابة المياه وزيادة في قوة الخرسانة، وأظهرت التحليلات الفيزيوكيميائية لجودة المياه مع فترات التعرض للمياه المغناطيسية تحسينات كبيرة في قابلية العمل وقوة الضغط للخرسانة مقارنةً بالخرسانة التي تستخدم مياه عادية.

مما سبق، نستنتج أن الدراسات السابقة ألقت الضوء على آليات متنوعة من خلالها تؤثر المجالات المغناطيسية في جزيئات الماء. من تغيير الخصائص الكهرومغناطيسية إلى تعزيز تكوين الهيدرات وتحسين قوة الخرسانة، وتوفر الدراسات رؤى قيمة حول تطبيقات المجالات المغناطيسية في مختلف المجالات، مع التركيز أن فهم هذه الآليات أمر مهم لتطوير التقنيات في الطب الحيوي والصناعة والبناء، وقد يؤدي المزيد من البحوث في هذا المجال إلى إيجاد حلول مبتكرة وتحسين فهم التفاعلات بين المجالات المغناطيسية وجزيئات الماء.

2.7.2. التغيرات في الخصائص الفيزيائية للماء تحت تأثير المجال المغناطيسي:

الماء هو عنصر أساسي ضروري للحياة، وقد أظهرت الدراسات أن خصائصه الفيزيائية يمكن أن تتأثر بعوامل خارجية مختلفة، بما في ذلك المجالات المغناطيسية، فقد أجرى (Jawad & Mahdi, 2023) دراسة حول تأثير التمغنط على مياه الصنبور، حيث تعرضت لمجالات مغناطيسية بشدد مختلفة، وأشارت النتائج إلى تغيرات في قيمة الـ pH والتوصيلية الكهربائية والخصائص الكيميائية للمياه، مع ملاحظة أكبر التغييرات في المجالات المغناطيسية الأعلى، وتشير هذه النتائج إلى أن المغنطة يمكن أن تؤثر في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، مما قد يوفر تقنية معالجة فعالة من حيث التكلفة مع انخفاض استخدام الطاقة والمواد، كما قام (Ben Yahia., *et al.*, 2014) بتخليق مركبات باستخدام طريقة هيدروحرارية، ودرسوا البنية المغناطيسية وخصائص Co(OH)F، وقد تكونت هياكل هذه المركبات من سلاسل مزدوجة من أوكتاهيدرات متصلة من الحواف، مع الحساسية المغناطيسية تشير إلى ترتيب مضاد للفيرومغناطيسية، مما يسلط الضوء على إمكانات فهم سلوك المواد تحت المجالات المغناطيسية، كما درس (Stemler, 2023) تأثير مجال مغناطيسي ضعيف ودوار على تجمعات كتل المياه والتغييرات في التفاعل الكيميائي للمياه السائلة، وكشفت الدراسة أن تطبيق مجال مغناطيسي دوار يمكن أن يؤثر على معدل ترطيب ثاني أكسيد الكربون في الماء، مما يشير إلى وجود علاقة بين المجالات المغناطيسية وتفاعلية تجمعات المياه. تسلط هذه الأبحاث الضوء على التفاعلات المعقدة بين المجالات المغناطيسية وبنيات المياه، مع التأكيد على أهمية فهم هذه الديناميكيات، كما استكشف (Zhang *et al.*, 2024) سلوك التآكل لسبيكة Fe-Co-Si تحت ظروف مجال مغناطيسي مختلفة. وجد أن وجود مجال مغناطيسي يسرع من التآكل مع التأثير في تكوين أغشية التغشية

على السبيكة. سلطت الدراسة الضوء على الآثار التآزرية للمجالات المغناطيسية على عمليات التآكل، مما يسهم في فهم أفضل لسلوك المواد في البيئات المغناطيسية، ودرس (Nagaev *et al.*, 2023) تأثير التأثيرات الميكانيكية والمغناطيسية على محاليل البروتين والماء الكولوئيدية، مما أسفر عن تغيرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية، في حين أن التأثيرات الميكانيكية غيرت خصائص المياه والكولويدات البروتينية، وأظهرت المجالات المغناطيسية تأثيراً أكبر على الكولويدات البروتينية، خاصةً عند ترددات محددة، وبحث (Hapipi *et al.*, 2021) في الخصائص الثنائية لبلاستومر مغناطيسي الريولوجي المستند إلى PVA تحت تركيبات مذيب مختلفة، وأظهرت الدراسة تأثير تصلب القص والتأثير المغناطيسي الريولوجي للمادة، مع وجود تباينات في الاستجابة لنسب المذيب المختلفة، وتشير هذه النتائج إلى أن تركيب المذيب يمكن أن يؤثر في الخصائص الميكانيكية لهلام MRP، مما يؤكد على أهمية اختيار المذيب في تصنيع المواد الذكية لتطبيقات مختلفة.

3.7.2. التغيرات في الخصائص الكيميائية للماء تحت تأثير المجال المغناطيسي

تناولت العديد من الأبحاث تأثير الحقول المغناطيسية على الخصائص الكيميائية للمياه، فقد ناقش (Hermann *et al.*, 2008) ضبط بنى الروابط الكيميائية لتغيير الخصائص الارتباطية للمعقدات المشتقة من الغادولينيوم (III)، مما يؤكد أهمية التغييرات البنائية في التأثير على الاستقرار الحراري والخمول الحركي لهذه المعقدات، كما درس (Stemler, 2023) تأثير حقل مغناطيسي ضعيف ودوار في تجمعات كتل المياه والتغييرات اللاحقة في النشاط الكيميائي للمياه السائبة، وأظهرت النتائج أن تطبيق حقل مغناطيسي ضعيف ودوار يمكن أن يؤثر على معدل ترطيب ثاني أكسيد الكربون، مما يشير إلى وجود رابط بين الحقول المغناطيسية والنشاط الكيميائي في المياه، وفي دراسة أجراها (Jawad & Mahdi, 2023) تم استكشاف تأثير المغنطة على المياه الصنبورية، مما أظهر زيادة في قيمة درجة الحموضة (pH)، والتوصيل الكهربائي، وغيرها من الخصائص الكيميائية مع زيادة شدة الحقل المغناطيسي. واقترحت الدراسة أن مغنطة المياه يمكن أن تكون تقنية معالجة فعالة مع انخفاض في استخدام الطاقة والمواد، مما يتماشى مع مفهوم التكنولوجيا الخضراء، كما درس (Nagaev *et al.*, 2023) سلوك التآكل لسبيكة ثلاثية الحديد–الكوبالت–السيليكون تحت ظروف حقل مغناطيسي مختلفة، مما أظهر أن وجود حقل مغناطيسي سرع من عملية التآكل

مع التأثير على تكوين أغشية التغييب على السبيكة، كذلك درس (Zhang *et al.*, 2024) تأثير العوامل الميكانيكية والتركيبات المغناطيسية في محاليل الكولويد البروتينية والمائية، وملاحظة تغييرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للكولويدات البروتينية تحت تأثير الحقول المغناطيسية، وأشارت الدراسة إلى إمكانية مراقبة جزيئات البروتين بطريقة غير اقتحامية باستخدام الحقول المغناطيسية، ما فعل له اثارا في انتاج المنتجات الصيدلانية.

مما سبق، نستنتج أن الحقول المغناطيسية قد تؤدي إلى تغييرات في الخصائص الكيميائية للمياه، مما يوفر فرصًا محتملة للتطبيقات في معالجة المياه، ومكافحة التآكل، وتطوير المواد الجديدة.

8.2. العلاقة بين المجال المغناطيسي ومعدل التبخر:

يُعتقد أن المجال المغناطيسي يمكن أن يؤثر في معدل تبخر السوائل، خاصة الماء، من خلال عدة آليات محتملة، وأحد التفسيرات المقترحة هو أن المجال المغناطيسي يمكن أن يغير من ترتيب جزيئات الماء وروابطها الهيدروجينية، وهذا التغيير قد يؤدي إلى تقليل قوى التماسك بين الجزيئات، مما يسهل عملية التبخر، كما يُعتقد أن المجال المغناطيسي قد يؤثر في الطاقة السطحية للسائل، مما يغير من معدل انتقال الجزيئات من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وتشير بعض الدراسات إلى أن المجال المغناطيسي يمكن أن يزيد من معدل التبخر، بينما تظهر دراسات أخرى تأثيرًا عكسيًا، كما أن تأثير المجال المغناطيسي في التبخر يعتمد على عدة عوامل، مثل قوة المجال المغناطيسي، ونوع السائل، ودرجة الحرارة، والضغط الجوي، لذلك قد تختلف النتائج باختلاف الظروف التجريبية (العيد، **2006**).

1.8.2. تأثير المجال المغناطيسي في معدل التبخر

تناولت العديد من الدراسات تأثير المجالات المغناطيسية في معدلات التبخر:

1. **زيادة معدل التبخر:** دراسات عديدة أكدت زيادة معدل التبخر في وجود المجال المغناطيسي، فقد لاحظت دراسة (Guo *et al.*, 2012) زيادة في معدلات التبخر باستخدام مغناطيسات حلقية من النيوديميوم، كما وجدت دراسة (Chibowski *et al.*, 2018) تبخرًا أسرع في مجال مغناطيسي كبير التدرج مقارنة بغيابه، وسجلت دراسة (Samadi *et al.*, 2024) زيادة في معدل التبخر عند تطبيق مجال مغناطيسي بواسطة ملف لولبي في وحدة تحلية مياه شمسية.

2. **تأثير اتجاه وشدة المجال المغناطيسي:** لاحظت دراسة (Guo *et al.*, 2012) اختلاف كميات الماء المتبخرة حسب اتجاه المغناطيس الحلقي، كما أشارت دراسة (Chibowski *et al.*, 2018) إلى تأثير موضع العينة داخل المجال المغناطيسي في معدل التبخر، مع تبخر أسرع عند (0 g).
3. **تأثير المجال المغناطيسي في خصائص الماء:** سجلت دراسة (Guo *et al.*, 2012) انخفاضًا طفيفًا في التوتر السطحي للماء، مشيرة إلى تأثير محتمل في الروابط الهيدروجينية.
4. **تأثير المجال المغناطيسي في السوائل المغناطيسية:** وجدت دراسة (الحكيم، 2023) أن معدل تبخر السائل الحامل الأساسي كان أعلى من معدل تبخر السائل المغناطيسي، مؤكدة دور المجالات المغناطيسية في تعزيز تبخر السوائل المغناطيسية.
5. **تطبيقات عملية:** أشار (Samadi *et al.*, 2024) إلى الفوائد المحتملة لاستخدام المجال المغناطيسي لتعزيز كفاءة وحدات تحلية المياه بالطاقة الشمسية، كما اقترحت دراسة (Zhang *et al.*, 2017) استخدام المجال المغناطيسي الميكروويف لفصل واطفاء الفحم الخام، مما يحسن معدلات إزالة الكبريت والرماد، كما ناقش (Tofani & Tiari, 2021) إمكانيات جديدة في علاج امراض السرطان باستخدام فرط الحرارة بالجسيمات النانوية المغناطيسية تحت مجال مغناطيسي متناوب، و وجد (Putti *et al.*, 2023) فوائد لاستخدام الماء المعالج مغناطيسيًا في تعزيز امتصاص العناصر الغذائية وكفاءة استخدام الماء في زراعة الخس.

2.8.2. العوامل المؤثرة في فعالية المجال المغناطيسي في تغيير معدل التبخر:

1. **شدة المجال المغناطيسي:** أظهرت دراسة (Guo *et al.*, 2012) أن تبخر الماء يتسارع في وجود مجال مغناطيسي ذي درجة تدرج كبيرة، وجدت الدراسة أن معدلات التبخر تختلف في مواضع مختلفة داخل المجال، مما يشير إلى أن شدة المجال المغناطيسي تلعب دورًا حاسمًا في تغيير ديناميكيات تبخر الماء.
2. **اتجاه المجال المغناطيسي:** بالإضافة إلى الشدة، أشارت دراسة (Guo *et al.*, 2012) إلى أن اتجاه المجال المغناطيسي يؤثر أيضًا في معدل التبخر، وهذا يسلط الضوء على أهمية توجيه المجال المغناطيسي بشكل صحيح لتحقيق التأثير المطلوب في عملية التبخر.

3. **خصائص المادة المتبخرة:** تؤثر خصائص المادة المتبخرة في فعالية المجال المغناطيسي في تغيير معدل التبخر، قد تستجيب المواد المختلفة بشكل متفاوت للمجالات المغناطيسية.
4. **التداخل الكهرومغناطيسي:** تشير دراسة (Kumar *et al.*, 2014) إلى أهمية السيطرة على التلوث الكهرومغناطيسي في البيئة المحيطة، وهذا قد يؤثر في دقة قياسات تأثير المجال المغناطيسي على معدل التبخر، وبالتالي يجب أخذه في الاعتبار عند تصميم التجارب.
5. **جودة الأجهزة المستخدمة:** تؤكد دراسة (ارحومة، **2025**) على أهمية المجالات المغناطيسية في توصيف المتذبذبات وتحسين عامل الجودة للأجهزة فائقة التوصيل، وهذا يشير إلى أن جودة الأجهزة المستخدمة لتوليد وقياس المجالات المغناطيسية قد تؤثر في دقة النتائج المتعلقة بتأثير هذه المجالات في معدل التبخر.

3.8.2. تطبيقات استخدام المجال المغناطيسي في إدارة المياه

1. **تحسين كفاءة تحلية المياه:** إن تحسين كفاءة تحلية المياه أصبح ضروريًا بسبب الطلب المتزايد على المياه العذبة وشح الموارد المائية، الأبحاث تركز على تقنيات مبتكرة لزيادة إنتاجية محطات التحلية وخفض التكاليف والطاقة، ويعد استخدام المجالات المغناطيسية تقنية واعدة لتعزيز التبخير وتحسين أداء أنظمة التحلية، وقد أظهرت الدراسات أن المجالات المغناطيسية يمكن أن تزيد معدلات التبخر، فعلى سبيل المثال درس (Samadi *et al.*, 2024) تأثير المجال المغناطيسي في أداء وحدة تحلية المياه بالطاقة الشمسية، ووجدت زيادة في معدل التبخر عند تطبيق مجال مغناطيسي بواسطة ملف لولبي، مما يشير إلى إمكانية تعزيز كفاءة وحدات تحلية المياه باستخدام المجالات المغناطيسية.
2. **تحسين خصائص المياه للري:** يُعد تحسين خصائص المياه للري أحد المجالات الحيوية في الزراعة الحديثة، حيث يسعى الباحثون والمزارعون على حد سواء إلى تعظيم الاستفادة من كل قطرة ماء في ظل تحديات ندرة المياه العالمية. و تشير الدراسات الحديثة إلى أن معالجة مياه الري مغناطيسياً قد تكون طريقة واعدة لتحسين خصائص المياه وتعزيز نمو النباتات، وقد بحثت دراسة (Putti *et al.*, 2023) في تأثير الماء المعالج مغناطيسياً في إنتاج محصول الخس، أظهرت النتائج زيادة في تركيزات

النيتروجين والفوسفور في نباتات الخس، وتحسين الخصائص الزراعية والإنتاجية، كما قام الباحثون (العاني وآخرون، **2015**) بدراسة تأثير المعالجة المغناطيسية في خصائص مياه الري وإنتاجية بعض المحاصيل الزراعية، ووجدت الدراسة أن المعالجة المغناطيسية للمياه أدت إلى تحسين في خصائص التربة وزيادة في إنتاجية المحاصيل المدروسة، مما يسلط الضوء على فوائد استخدام الماء المعالج مغناطيسياً لتعزيز امتصاص العناصر الغذائية وكفاءة استخدام الماء في الزراعة.

3. **تعزيز عمليات التبخر:** يمثل تعزيز عمليات التبخر مجالاً مهماً في العديد من التطبيقات الصناعية والبيئية، من معالجة مياه الصرف الصحي إلى تركيز المحاليل الكيميائية، وفي هذا السياق، برز استخدام المجالات المغناطيسية كتقنية واعدة لتسريع عملية التبخر وزيادة كفاءتها، الأبحاث الحديثة تشير إلى أن تطبيق المجالات المغناطيسية يمكن أن يؤدي إلى زيادة ملحوظة في معدلات التبخر، وقد أكدت دراسات مثل (Guo *et al.*, 2012) و(Chibowski *et al.*, 2018) زيادة معدلات التبخر في وجود مجال مغناطيسي، هذه النتائج قد تكون مفيدة في تطبيقات مثل معالجة مياه الصرف الصحي أو تركيز المحاليل.
4. **تعديل خصائص المياه:** يُعد تعديل خصائص المياه مجالاً حيوياً في العديد من التطبيقات العلمية والصناعية، حيث يسعى الباحثون إلى فهم وتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء لتلبية احتياجات محددة، من بين التقنيات الواعدة في هذا المجال، برز استخدام المجالات المغناطيسية كوسيلة لتعديل خصائص المياه دون إضافة مواد كيميائية، الدراسات الأخيرة تشير إلى أن تعريض الماء لمجالات مغناطيسية يمكن أن يؤثر على خصائصه مثل التوتر السطحي والروابط الهيدروجينية، وقد لاحظ (Guo *et al.*, 2012) انخفاضاً طفيفاً في التوتر السطحي للماء عند تعريضه لمجال مغناطيسي، مما يشير إلى تأثير محتمل في الروابط الهيدروجينية، وهذا قد يكون مفيداً في تطبيقات تتطلب تعديل خصائص المياه.
5. **معالجة المياه الملوثة:** تمثل معالجة المياه الملوثة تحدياً عالمياً متزايد الأهمية في ظل تنامي الضغوط البيئية والصناعية على موارد المياه العذبة، ومع تطور التكنولوجيا تبرز تقنيات جديدة وواعدة لتنقية المياه، ومن بينها استخدام المجالات المغناطيسية كوسيلة مبتكرة لمعالجة الملوثات. هذا النهج، المستوحى من نجاحات تطبيق المجالات المغناطيسية

في مجالات أخرى مثل تنقية الفحم، يفتح آفاقاً جديدة لتطوير أساليب أكثر كفاءة وصديقة للبيئة في معالجة المياه الملوثة، مع إمكانية تحقيق نتائج واعدة في إزالة مجموعة واسعة من الملوثات، فبناءً على نتائج (Zhang *et al.*, 2017) في استخدام المجال المغناطيسي الميكروويف لفصل وتنقية الفحم، يمكن استكشاف تطبيقات مماثلة في معالجة المياه الملوثة وإزالة الملوثات (الحكيم، **2023**).

6. **تحسين كفاءة استخدام المياه في الصناعة:** يمثل تحسين كفاءة استخدام المياه في الصناعة أولوية قصوى في ظل تزايد الضغوط على موارد المياه العالمية والحاجة الملحة لتبني ممارسات أكثر استدامة. في هذا الإطار، تبرز الأبحاث حول السوائل المغناطيسية كمجال واعد يحمل إمكانات كبيرة لتحسين العمليات الصناعية المعتمدة على التبخر والتكثيف، دراسة (الحكيم، 2023) حول تبخر السوائل المغناطيسية تفتح آفاقاً جديدة لتطوير تقنيات متقدمة للتحكم الدقيق في هذه العمليات، مما قد يؤدي إلى تحسين كبير في كفاءة استخدام المياه وترشيد استهلاك الطاقة في مختلف القطاعات الصناعية.
7. **تطوير تقنيات جديدة لمعالجة المياه:** يُعد تطوير تقنيات جديدة لمعالجة المياه محوراً أساسياً في مواجهة التحديات العالمية المتعلقة بنقص المياه النظيفة وتزايد التلوث، في هذا السياق تبرز الأبحاث المتعلقة بالجسيمات النانوية المغناطيسية كمجال واعد يحمل إمكانات ثورية في تنقية المياه وتعقيمها، دراسة (Tofani & Tiari, 2021) حول تسخين هذه الجسيمات تحت تأثير مجال مغناطيسي متناوب تفتح آفاقاً جديدة لتطوير تقنيات مبتكرة قد تغير مشهد معالجة المياه، مع إمكانية تحقيق كفاءة أعلى وتكلفة أقل مقارنة بالطرق التقليدية.

9.2. تقنيات معالجة المياه باستخدام المجالات المغناطيسية

أشار "مظفر الموصلي" إلى طريقتين رئيسيتين لمعالجة المياه باستخدام المجالات المغناطيسية (الموصلي، **2013**):

1. النظام ثنائي القطب (BIO-POLAR SYSTEM): يعتمد على مغانط ثنائية القطب توضع متقابلة، ويُعرف هذا النظام بـ MAGNETOTRON، ويمر الماء خلال هذه المغانط بحيث تقطع حركة جزيئات الماء خطوط المجال المغناطيسي، وتعد هذه التقنية فعالة في تحسين خواص المياه مثل زيادة ذوبان الأملاح وتقليل التكلس.

2. النظام أحادي القطب (MONOPOLE): يعتمد هذا النظام على استخدام قطب مغناطيسي واحد فقط، ويُعرف باسم MAGNETIZER، حيث تُعرّض المياه إلى قطب شمالي أو جنوبي فقط، أو توضع في منتصف أنبوب بمغناطيس واحد، بحيث يمر الماء مع اتجاه خطوط المجال المغناطيسي، وتُستخدم هذه التقنية عادةً لمعالجة المياه لهدف محدد، مثل إيقاف نمو البكتريا أو تخفيف آلام الجسم.

1.9.2. آلية عمل التقنيات المغناطيسية:

تعمل التقنيات المغناطيسية على تغيير اتجاه جزيئات الماء، مما يؤدي إلى كسر بعض الروابط الهيدروجينية مما يزيد من قابلية تحلل المياه الكهربائي وتقلل من لزوجة الماء، بالإضافة إلى تغيير ترتيب جزيئات الماء مما يجعلها أكثر فعالية في امتصاص العناصر والغازات، كذلك زيادة الطاقة الكامنة في الماء مما يعطيه القدرة على اختراق جدران الخلايا بسهولة (Pang & Shen, 2013).

2.9.2. فوائد استخدام المجالات المغناطيسية في إدارة موارد المياه

يوفر استخدام المجالات المغناطيسية في إدارة الموارد المائية فوائد مختلفة، كما هو موضح في الأوراق البحثية، يمكن أن تؤثر المياه الممغنطة بشكل إيجابي في نمو النبات وتطوره، مما يعزز إنبات البذور، والنمو الخضري، وإنتاج الفاكهة، وجودة التربة، كما يمكن للمعالجة المغناطيسية للمياه غير التقليدية تغيير خصائص الماء، وتحسين مستويات الحموضة وتقليل الملوحة، وبالتالي تحسين جودة المياه للاستخدام الزراعي في المناطق القاحلة (**الخلف *وآخرون*، 2023**)، كما يمكن أن يؤدي تطبيق المجالات المغناطيسية في معالجة مياه الصرف الصحي إلى تعزيز خصائص الكتلة الحيوية، مما يؤدي إلى تحسين قابلية الاستقرار وتحسين أداء إزالة المحتويات العضوية وغير العضوية في ظل ظروف الأكسجين المذاب المنخفضة، مما يعزز في النهاية قدرة التحلل البيولوجي للبكتيريا الهوائية (سليمان، **2024**)، بشكل عام يُظهر استخدام المجالات المغناطيسية في إدارة المياه نتائج واعدة في تحسين الإنتاج الزراعي، وتحسين جودة المياه، وتعزيز عمليات معالجة مياه الصرف الصحي.

3.9.2 التحديات والقيود في استخدام المجالات المغناطيسية لمعالجة المياه

تواجه تقنية استخدام المجالات المغناطيسية لمعالجة المياه العديد من التحديات والقيود التي تحد من فعاليتها وانتشارها على نطاق واسع، وتشمل هذه التحديات والقيود ما يلي (الموصلي، 2013):

1. تدهور فعالية المعالجة بمرور الوقت عند استخدام المغناطيس الدائم، وعدم وضوح الفعالية على المدى الطويل، خاصة في المشاريع الكبيرة.
2. ارتفاع تكاليف التشغيل المرتبطة بتحلية المياه الكهرومغناطيسية، كما تمثل قضايا استهلاك الطاقة أهم التحديات في استخدام هذه التقنية.
3. الأساس العلمي غير الواضح للعملية، وبالتالي الحاجة إلى مزيد من الفهم للآليات المشاركة في العملية، وضرورة فهم التأثير الكامل للآلية.
4. تغيرات الزاوية وحدود شدة المجالات المغناطيسية الثابتة، وصعوبات في التحكم بشدة المجال، كذلك الحاجة إلى معدات متخصصة.
5. قضايا التوسع في تطبيق التقنية، والفعالية المحدودة في التدفق المضطرب.
6. نقص التقييم الكمي لفعالية التقنية، وبالتالي الحاجة إلى التحقق التجريبي من تأثير التقنية في جودة المياه، والنتائج غير المتسقة في بعض الدراسات.
7. الحاجة إلى تحسين الحث المغناطيسي، وضرورة تطوير ميكانيكا تطبيق المجالات الكهرومغناطيسية لتحسين الفعالية.

مما سبق، نستنتج أن هذه التحديات والقيود تشير إلى الحاجة الملحة لمزيد من البحث والتطوير في مجال استخدام المجالات المغناطيسية لمعالجة المياه، مع التركيز على تحسين الفعالية، وخفض التكاليف، وزيادة فهم الآليات الأساسية للعملية.

بشكل عام، تشير الدراسات إلى أن المجالات المغناطيسية يمكن أن تلعب دورًا حاسمًا في تعزيز معدل تبخر الماء، بما في ذلك مياه الآبار، من خلال آليات مثل زيادة تعرض مساحة السطح والتفاعلات الجزيئية المتغيرة، وإن تطوير تقنيات تحلية فعالة من حيث التكلفة، والتي تعد ضرورية لمواجهة التحدي العالمي المتمثل في محدودية الوصول إلى المياه

الصالحة للشرب، ومع استمرار الباحثين في استكشاف التفاعل بين المجـــالات المغناطيســـية وتبخر الماء، يظل احتمال إيجاد حلول مبتكرة في تنقية المياه وتحليتها واعدًا.

10.2. ملخص:

مما سبق نجد أن المجالات المغناطيسية يمكن أن يكون لها تأثيرٌ كبيرٌ في خصـــائص المياه ومعدل التبخر، مما قد يوفر تقنيات معالجة فعالة من حيث التكلفة وصديقة للبيئة، وتوفر الدراسات المرجعية في هذه الدراسة معلومات غنية عـــن التـــأثيرات المختلفـــة للمجـــالات المغناطيسية على الماء ، وتسلط الضوء على إمكانياتها في إدارة الموارد المائية والتحكم فـــي نقل الحرارة، وتأثيرها في النمو النباتي وكفاءة الزراعة، كما أن تطبيق المجالات المغناطيسية يمكن أن يؤدي إلى زيادة معدل التبخر، مما يجعلها تقنية واعدة في تحليـــة الميـــاه وتركيـــز المحاليل، بالإضافة إلى تحسين خصائص المياه مثل التوتر السطحي، مما يسهل عملية التبخر، كما تُحسن هذه التقنية كفاءة عمليات التبخر، مما قد يجعله مفيدًا في معالجة الميـــاه الملوثـــة، وتعزيز نمو النباتات، مما يجعلها خيارًا واعدًا لتحسين كفاءة الزراعة، وبالرغم مـــن الفوائـــد المحتملة لاستخدام المجالات المغناطيسية في معالجة المياه، إلا أن هناك تحديات وقيودًا تواجه هذا التطبيق، منها عدم وضوح آلية عملها بالكامل، مما يصعب التنبؤ بفعاليتها، كمـــا تبـــرز القيود التقنية، مثل صعوبة التحكم في شدة المجال والتغيرات في الزاوية، بالإضافة إلى ارتفاع تكاليف تطبيقها، ونقص الدراسات التي تقيم فعاليتها بشكل كمي، وفي وجود البحوث المستمرة في هذا المجال الواعد ستؤدي إلى فهم أفضل للآليات التي تؤثر علـــى المـــاء تحـــت تـــأثير المجالات المغناطيسية، وبالتالي ستسهم في تطوير تقنيات جديدة أكثر كفاءة وفعالية، وتُفـــتح آفاقًا جديدة لإدارة الموارد المائية بشكل أكثر كفاءة واستدامة، مما سيخدم الإنسان والبيئة فـــي نفس الوقت.

وبالتالي يُمكن القول ان استخدام المجالات المغناطيسية في إدارة المياه يُعـــد مجالًـــا واعدًا له إمكانيات هائلة، مع وجود بعض التحديات والقيود، ويُحتاج إلى مزيد مـــن البحـــث والتطوير لتجاوز هذه التحديات وتحسين فهم آليات العمل، مما قد يؤدي إلى اســـتخدام أكثـــر انتشارًا لهذه التقنيات في مختلف المجالات لخلق حلول مبتكرة ومستدامة للمشكلات المتعلقـــة بالمياه، مما يسهم في تحقيق مستقبل أفضل للإنسان والبيئة.

الفصل الثالث

المواد والطرق (Materials and Methods)

1.3 جمع العينات.

2.3 دراسة الخصائص الكيميائية للعينات.

3.3 قياس عملية التبخر.

4.3 ملخص.

1.3. جمع العينات:

تم جمع أربع عينات شكل (11–3) من الماء من آبار مختلفة:

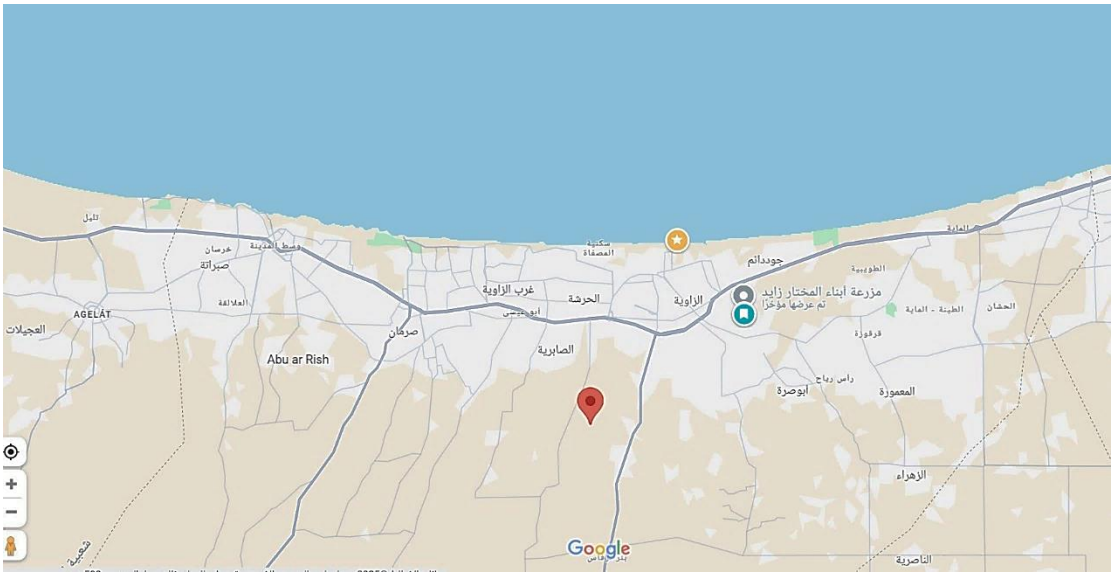
العينة رقم (1): من منطقة بئر معمر، عمق البئر (90m) الشكل (3–1).

العينة رقم (2): من منطقة جود دائم، عمق البئر (90m) الشكل (3–2).

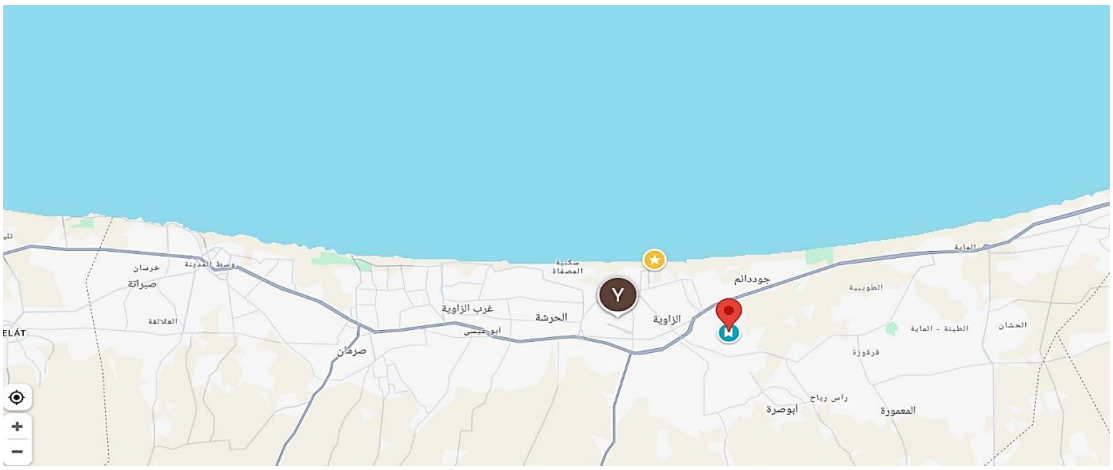
العينة رقم (3): من منطقة البرناوي، عمق البئر (120m) الشكل (3–3).

العينة رقم (4): من أحد آبار الزاوية المركز بمنطقة الركينة، عمق البئر (40m) الشكل (3–4).

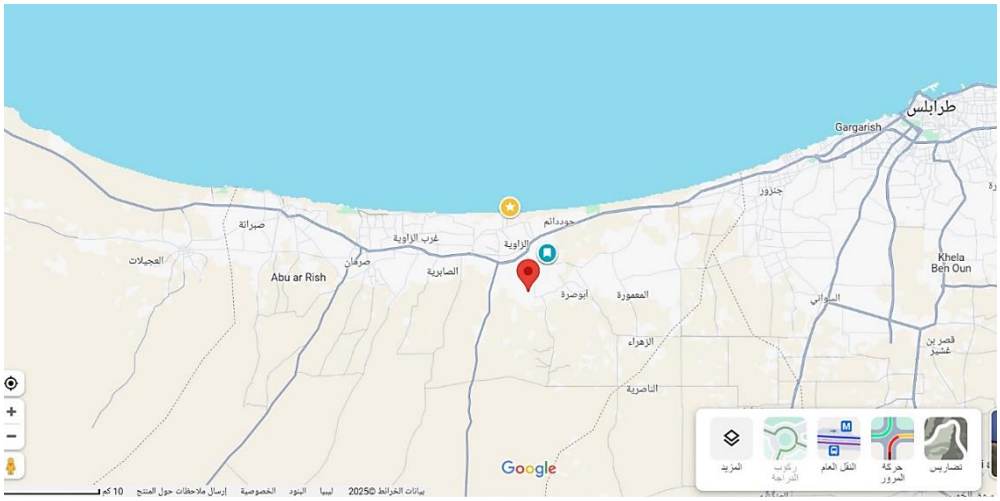
تم تحديد الموقع الجغرافي لكل بئر كما هو مبين في خرائط الأقمار الصناعية التالية:



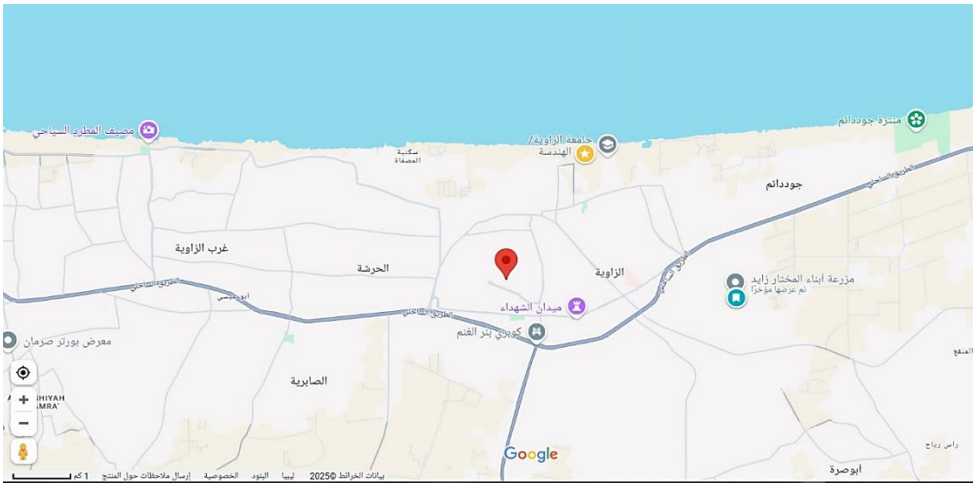
الشكل (3–1): يبين موقع البئر (1) منطقة "بئر معمر"، عمق البئر (90m).



الشكل (3–2): يبين موقع البئر (2) في منطقة "جود دائم"، عمق البئر (90m)



الشكل (3-3): يبين موقع البئر 3 في منطقة البرناوي، عمق البئر (120m)



الشكل (3-4): يبين البئر (4) في الزاوية المركز "منطقة الركينة"، عمق البئر (40m)



الشكل (3-5): عينات الماء قبل المغنطة

2.3. دراسة الخصائص الكيميائية للعينات:

تم قياس الخصائص الكيميائية لكل عينة قبل المغنطة، ثم تم تطبيق المجال المغناطيسي باستخدام اجهزة المغنطة الموضحة بالشكلين (**7**، **8**)، ومرة أخرى بعد مرور min **15** من تطبيق المجال: الموصلية الكهربائية (EC)، والمذابات الكلية (TDS)، ودرجة الحرارة (T)، pH، محتوى المواد الصلبة الذائبة (PPT) (عون وكاموكا، **2019**)، وتم استخدام جهاز "Multiline p4" من شركة "WTW" الشكل (**3–5**) (مصطفى *وآخرون*، **2021**) لقياس هذه الخصائص في مختبر كلية العلوم صبراتة.



الشكل (3–6): يوضح جهاز Multiline p4

جهاز Multiline P4 هو جهاز قياس محمول متعدد الوظائف، يتميز بالقدرة على ربط عدة مجسات مختلفة في آن واحد، مما يتيح قياس درجة الحموضة (pH)، والأكسجين الذائب (TDS)، والتوصيلية الكهربائية (EC)، ودرجة الحرارة بدقة عالية، يتمتع الجهاز بشاشة رقمية واضحة لعرض القراءات، مع أزرار تحكم لتبديل المعلمات، كما أنه مزود بمسبارين قابلين للفصل والتبديل وفق نوع القياس المطلوب، يُستخدم على نطاق واسع في تحليل جودة المياه في المختبرات البيئية والصناعية، وكذلك في الأبحاث العلمية الميدانية لقياس الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمياه (Xylem Analytics, n.d.).

وقد تم قياس تركيزات البوتاسيوم (K)، والصوديوم (Na)، والكالسيوم (Ca) في مركز السديم بجنزور باستخدام جهاز مطياف اللهب الشكل **(3-7)** (النقيب *وآخرون*، **2022**).



الشكل (3-7): يوضح جهاز مطياف اللهب

مطياف اللهب، هو أداة تحليلية متقدمة تُستخدم لقياس تركيز العناصر المعدنية في العينات الكيميائية بدقة عالية، يعتمد الجهاز على مبدأ الامتصاص الذري، حيث يتم تحويل العينة إلى رذاذ متناهي الصغر يُحقن في شعلة حارقة، تعمل على تبخير المادة وتحويل ذرات العنصر المراد تحليله إلى حالته الذرية الغازية، بعد ذلك، يمر شعاع ضوئي بطول موجي محدد عبر السحابة الذرية، حيث تمتص الذرات الضوء بمقدار يتناسب طرديًا مع تركيز العنصر في العينة (Hill, 2013).

وتم قياس هذه المتغيرات قبل وبعد تطبيق المجال المغناطيسي، ومرة أخرى بعد مرور min **15** من تطبيق المجال (زياد *وآخرون*، **2015**).

حيث تم جمع أربع عينات من الماء من آبار مختلفة بمدينة الزاوية كما هو موضح في الجدول **(3-1)**.

جدول (3–1) :(pH - PPT - T –TDS– EC):

حيث ان: Ec الموصلية الكهربائية، pH الاس الهيدروجيني ، TDS المواد الصلبة الذائبة الكلية ، K تركيز البوتاسيوم، Na تركيز الصوديوم، Ca تركيز الكالسيوم، T درجة الحرارة، PPT جزء في المليون.

رقم العينة	حالة الماء	pH	TDS (mg/l)	PPT	T (C)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	EC (mS/ cm)	Na (mg/l)
1	بدون مغنطة	7.65	1125.121	0.7	15.3	6	400.76	1758	127
	بعد المغنطة	7.58	1133.44	0.7	15.9	7	400.76	1771	150
	بعد 15min	7.69	1131.52	0.7	16.3	10	400.76	1769	204
2	بدون مغنطة	7.61	748.16	0.4	14.9	5	400.76	1169	94
	بعد المغنطة	7.58	750.72	0.4	15.7	5	300.57	1174	92
	بعد 15min	7.63	750.72	0.4	16.1	6	300.57	1172	99
3	بدون مغنطة	7.48	913.92	0.5	15.3	7	400.76	1428	108
	بعد المغنطة	7.51	908.16	0.5	15.6	9	400.76	1419	143
	بعد 15min	7.55	908,16	0.5	16.2	7	400.76	1419	109
4	بدون مغنطة	7.34	1593.6	1.1	15	14	400.76	2490	303
	بعد المغنطة	7.39	1593.6	1.1	15.8	18	400.76	2490	383
	بعد 15min	7.44	1593.6	1.1	16.3	12	400.76	2490	290

تُظهر بيانات الجدول **(3–1)** تباينات ملحوظة في الخصائص الفيزيوكيميائية للمياه الجوفية عند تعريضها للمغنطة، فعند تحليل عينات المياه الأربع المأخوذة من آبار بأعماق مختلفة **(40–120** متر)، لوحظ أن المعالجة المغناطيسية أحدثت تغييرات في عدة معايير، فقد تأثرت قيم الأس الهيدروجيني (pH) بشكل طفيف بعد المغنطة مباشرة ثم عادت للارتفاع بعدmin **15**، مما يشير إلى تأثير مؤقت على توازن الأيونات، كما لوحظت زيادة ملحوظة في تركيز البوتاسيوم (K) في العينات الأولى والثالثة والرابعة بعد المغنطة مباشرة، مع انخفاض لاحق في العينتين الثالثة والرابعة بعد مرور الوقت، وأظهرت قياسات الموصلية

الكهربائية (EC) تغيراً إيجابياً في العينة الأولى والثانية، بينما انخفضت في العينة الثالثة وبقيت ثابتة في العينة الرابعة. ومن الملاحظ أيضاً أن تركيز الصوديوم (Na) سجل ارتفاعاً واضحاً بعد المغنطة المباشرة في العينات **1** و**3** و**4**، مع اختلاف في سلوك التركيز بعد مرور الوقت، وبشكل عام أظهرت العينة الرابعة (من منطقة الركينة بعمق **40** متر) أعلى قيم للمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) والموصلية الكهربائية، مما يشير إلى محتوى أملاح أعلى مقارنة بالعينات الأخرى، هذه النتائج تقدم مؤشرات أولية حول إمكانية استخدام المعالجة المغناطيسية لتعديل خصائص المياه الجوفية، وهو ما قد يفتح آفاقاً جديدة في مجال معالجة المياه بطرق غير كيميائية في المناطق التي تعاني من محدودية موارد المياه العذبة.



الشكل (3-8): يوضح جهاز المجال المغناطيسي (Magnetron) المستخدم لدراسة الخصائص الأولية للماء (Mohammed, S., & Mansouri, 2020)



الشكل (3-9): يوضح الجهاز المستخدم للمغنطة.

3.3. قياس عملية التبخر:

لقياس عملية التبخر تم استخدام أجهزة وأدوات معملية المتمثلة في (كأس مدرج سعة **100**ml – مصدر حرارة كهربائي –ميزان الكتروني – ترمومتر) بدء التجربة بقياس عملية التبخر لعينات الماء قبل المغنطة ، حيث تم اخذ **40**ml من كل عينة وتسجيل درجة الحرارة قبل بدء عملية التسخين و تم تعريضها لمصدر الحرارة وتسجيل دراجات الحرارة والكتلة والحجم على فترات زمنية على النحو التالي :- بعد مرور min **5** – بعد min **10** – بعد min **15** – بعد min **20** – بعد min **25** .. **30** –**35** من التسخين، وتم تكرار هذه الخطوات لكل عينة قبل وبعد تطبيق المجال المغناطيسي (حسن، **2013**)، حيث قامت الباحثة بتصميم جهاز لإمرار المجال المغناطيسي على العينات الشكل (**3**–**8**)، ويتركب الجهاز من أنبوب معدني مفتوح من طرف واحد – أسطوانات مغناطيسية محاطة بالأنبوب، وقد مررت كل عينة عبر المجال لمدة (**30**min ، **60** min، **90** min، **3** h، **6** h ، **9** h ، **12** h، **24** h ، **48** h)، وبعد امرار العينات على المجال المغناطيسي خلال الأزمنة المذكورة تم اتباع نفس الخطوات السالف ذكرها في قياس معدل التبخر للماء غير الممغنط وتسجيل النتائج درجة الحرارة والكتلة والحجم لكل حالة.

4.3. ملخص:

تم جمع أربع عينات من المياه الجوفية من آبار ذات أعماق متفاوتة (M **40**–**120**) من مناطق بئر معمر، جودائم، البرناوي، والركينة بمدينة الزاوية، مع تحديد مواقعها الجغرافية، خضعت العينات لتحليل خصائصها الفيزيوكيميائية على ثلاث مراحل: قبل المعالجة بالمجال المغناطيسي، وبعدها مباشرة، ثم بعد مرور min **15**، حيث شملت القياسات كلاً من الأس الهيدروجيني (pH)، والموصلية الكهربائية (Ec)، ودرجة الحرارة (T)، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS و PPT) باستخدام جهاز (Multiline p4)، بالإضافة إلى تحديد تراكيز أيونات الصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K)، والكالسيوم (Ca) بواسطة جهاز مطياف اللهب، كما تم تقييم تأثير المغنطة على معدل التبخر من خلال تعريض العينات لفترات مغنطة زمنية متدرجة (من 30min إلى h **48**)، ومن ثم تسخين حجم محدد (**40**ml) من كل عينة مع رصد التغيرات في درجة الحرارة والوزن والحجم على فترات زمنية منتظمة خلال **35**min.

الفصل الرابع

النتائج (Results)

1.4. عرض نتائج اختبار العينات

1.1.4. نتائج العينة الأولى (منطقة بئر معمر – عمق 90م)

2.1.4. نتائج العينة الثانية (منطقة جود دائم – عمق 90م)

3.1.4. نتائج العينة الثالثة (منطقة البرناوي – عمق 120م)

4.1.4. نتائج العينة الرابعة (منطقة الركينة – عمق 40م)

1.4. عرض اختبار العينات

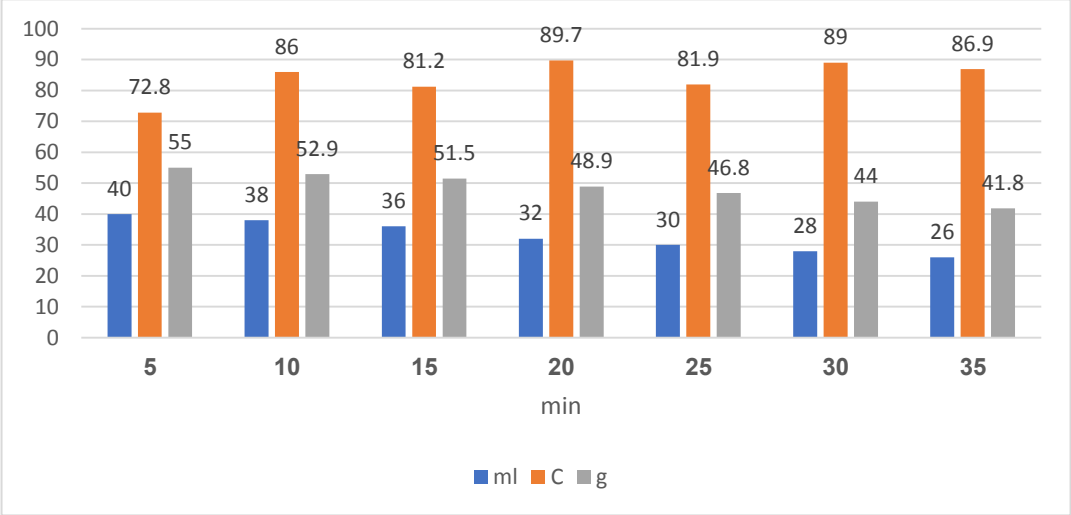
1.1.4. نتائج العينة رقم (1): من منطقة بئر معمر، عمق البئر (90 متر)

بيانات العينة رقم 1

جدول (4–1) بيانات العينة (1) (v=40ml, T=29.5c, m=58.4g) قبل المغنطة

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C	الكتلة / g
5	40	72.8	55
10	38	86	52.9
15	36	81.2	51.5
20	32	89.7	48.9
25	30	81.9	46.8
30	28	89	44
35	26	86.9	41.8

1.1.1.4. العينة رقم (1) قبل المغنطة



الشكل (4–1): يوضح خصائص العينة 1 (v=40ml, T=29.5 C^0, m=58.4 g) قبل المغنطة

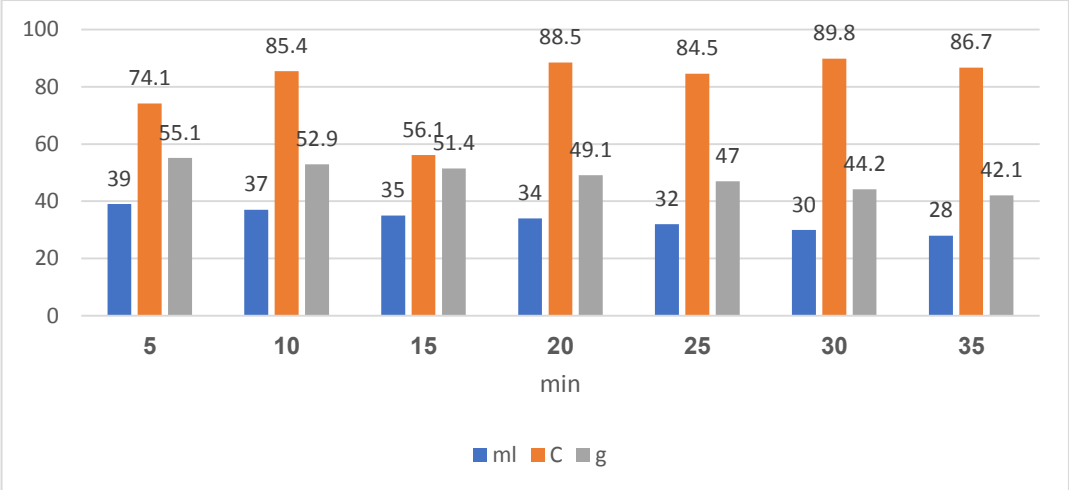
يعرض الشكل **(4–1)** بيانات العينة الأولى قبل المغنطة في دراسة "تـــأثير المجـــال المغناطيسي على معدل التبخر لمياه الآبار بمدينة الزاوية" نمطاً واضحاً من التغيرات الفيزيائية المترابطة خلال فترة القياس، فقد لوحظ تناقص مطرد في حجم الماء من 40ml إلى 26ml، بمعدل انخفاض يُقارب0.4 ml/min، مما يعكس معدل تبخر ثابت نسبياً، وبالتوازي مع ذلك، انخفض كتلة العينة من 55g إلى 41.8g ، بفقدان إجمالي يبلغ 13.2g خلال 35min. وعلى

النقيض، أظهرت درجات الحرارة تذبذباً ملحوظاً C^{O}**(89.7–72.8)** بنمط غير منتظم، ممـــا يشير إلى تأثير العوامل المحيطة على درجة حرارة العينة، تكمن دلالة هذه النتائج في إثبـــات العلاقة الطردية بين معدل التبخر وارتفاع درجة الحرارة، حيث سجلت أعلى معدلات فقـــدان الحجم في الفترات التي شهدت ارتفاعاً في درجات الحرارة، يُستدل من هذا النمط أن التبخـــر يتبع العلاقات الترموديناميكية المتوقعة في الظروف القياسية، ويؤسس هذا قاعـــدة مرجعيـــة لتقييم التغيرات المحتملة بعد تعريض العينة للمجال المغناطيسي، كما يفتح الباب للتساؤل حول ما إذا كانت المغنطة ستؤدي إلى تغيير في معدلات التبخر أو في طبيعة العلاقة بين المتغيرات الفيزيائية للعينة، وهل ستعزز أو تثبط عملية التبخر، مما يمكن أن يكون له تطبيقات عملية في إدارة موارد المياه في المناطق الجافة مثل مدينة الزاوية.

2.1.1.4. العينة رقم (1) بعد المغنطة

جدول(4–2) يبين خصائص العينة 1 (v=40ml, T=29.5C, m=58.4g) بعد مدة30 min من المغنطة

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C	الكتلة / g
5	39	74.1	55.1
10	37	85.4	52.9
15	35	56.1	51.4
20	34	88.5	49.1
25	32	84.5	47
30	30	89.8	44.2
35	28	86.7	42.1

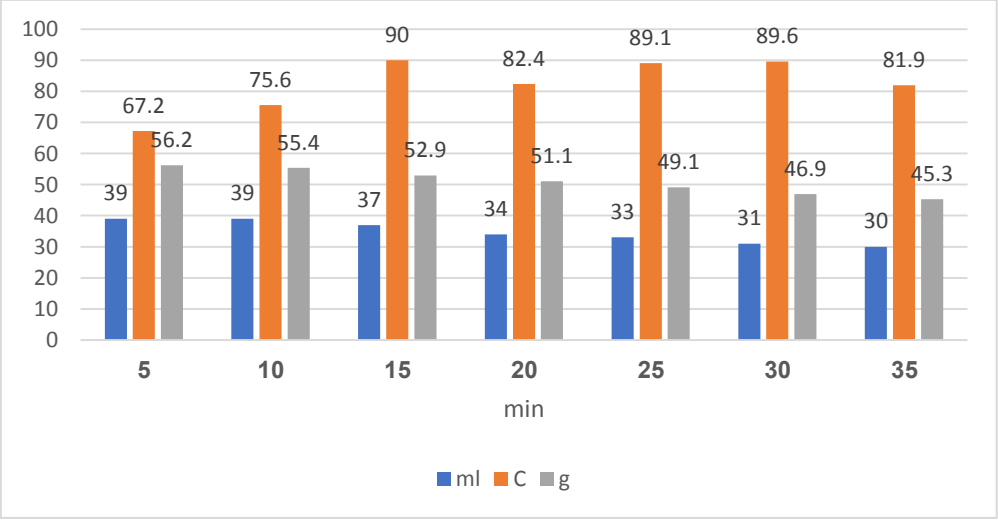


الشكل (4–2): يوضح التأثير المغناطيسي بعد30 min بقوة 15,000 G

يظهر الشكل (4–2) بيانات العينة الأولى بعد مدة 30 min من المغنطة بقوة 15,000 G عن تحولات فيزيائية ملفتة مقارنة بنتائج ما قبل المغنطة، فقد تراجع حجم الماء من 40ml إلى 28ml بمعدل تبخر أبطأ نسبياً (0.34ml/min) مقارنة بالعينة قبل المغنطة (0.4 ml/min)، مما يشير إلى تأثير مثبط للمجال المغناطيسي في عملية التبخر، كما لوحظ انخفاض في كتلة العينة من (55.1g إلى 42.1)، بفقدان إجمالي يبلغ 13g خلال 35 min ، وهو أقل قليلاً من الفقدان المسجل قبل المغنطة. أما درجات الحرارة فقد استمرت في إظهار تذبذب ملحوظ تراوح بين (C^O 56.1 و89.8)، مع تسجيل انخفاض حاد ($C^0$56.1) عند 15min، مما يعكس ديناميكية معقدة للعوامل المؤثرة في النظام، تشير هذه النتائج إلى قدرة المجال المغناطيسي على تعديل خصائص الماء بطريقة تؤثر في معدل تبخره، حيث حافظت العينة المعالجة مغناطيسياً على حجم أكبر وكتلة أعلى في نهاية فترة القياس، هذه الملاحظة تفتح آفاقاً واعدة لتطبيقات المعالجة المغناطيسية في تقنيات الحفاظ على المياه وتحسين كفاءة استخدامها في المناطق ذات الندرة المائية.

جدول (4–3) يبين خصائص العينة 1 (m=55.7g, v= 40ml, T=29.4c^0) بعد 60 min من المغنطة

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	39	67.2	56.2
10	39	75.6	55.4
15	37	90	52.9
20	34	82.4	51.1
25	33	89.1	49.1
30	31	89.6	46.9
35	30	81.9	45.3

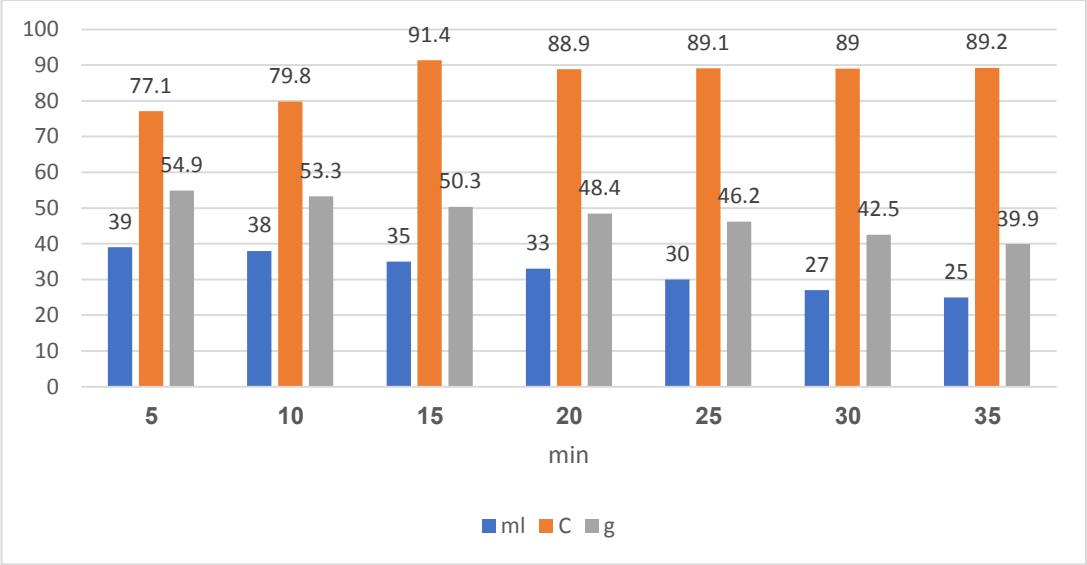


الشكل (4–3): التأثير المغناطيسي بعد 60 min بقوة 15,000 G

تُبرز بيانات العينة الأولى بعد (60min) من المغنطة بقــوة (15,000G) تغيــرات جوهرية في خصائص الماء المعالج مغناطيسياً، يلاحظ انخفاض معدل التبخر بشكل ملحوظ، إذ تراجع حجم الماء من ml (**39** إلى **30**) فقط، بمعدل تبخر يقــارب (ml/min **0.29**)، وهو أقل بوضوح من المعدلات السابقة قبل المغنطة (ml/min **0.4**) وبعــد(30min) مــن المغنطة (ml/min **0.34**)، كما يلاحظ استقرار الحجم عند **39**ml خــلال الــدقائق العشــر الأولى، مما يشير إلى تأخر في بدء عملية التبخر، وبالمثل، انخفض كتلة العينة مــن g(**56.2** إلى **45.3**)، بفقدان إجمالي يبلغ (**10.9**g) خلال (35min) ، وهو أقل بنســبة **16**% مــن الفقدان المسجل قبل المغنطة، تكمن دلالة هذه النتائج في إثباتها وجود علاقة طردية بين زمن التعرض للمجال المغناطيسي وانخفاض معدل التبخر، ممــا يــرجح فرضــية أن المعالجــة المغناطيسية للماء تعزز القوى بين جزيئات الماء، وبالتالي تقلل من قابليته للتبخر، وهذا يحمل تطبيقات واعدة في مجالات الحفاظ على المياه وتحسين كفاءة الري في المناطق الجافة، حيث يمكن استثمار هذه الخاصية للحد من الفقد المائي عبر التبخر أثناء التخزين والنقل والاستخدام، كما تفتح هذه النتائج المجال لدراسات مستقبلية حول التأثيرات المحتملة للمعالجة المغناطيسية في الخصائص الكيميائية والبيولوجية للمياه، واستكشاف إمكانية توظيفها في تحســين جــودة المياه وتطبيقات معالجة المياه المختلفة.

جدول (4-4) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور90 min من المغنطة ((T=29.6c^0, m=55.8g, v=40ml))

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	39	77.1	54.9
10	38	79.8	53.3
15	35	91.4	50.3
20	33	88.9	48.4
25	30	89.1	46.2
30	27	89	42.5
35	25	89.2	39.9

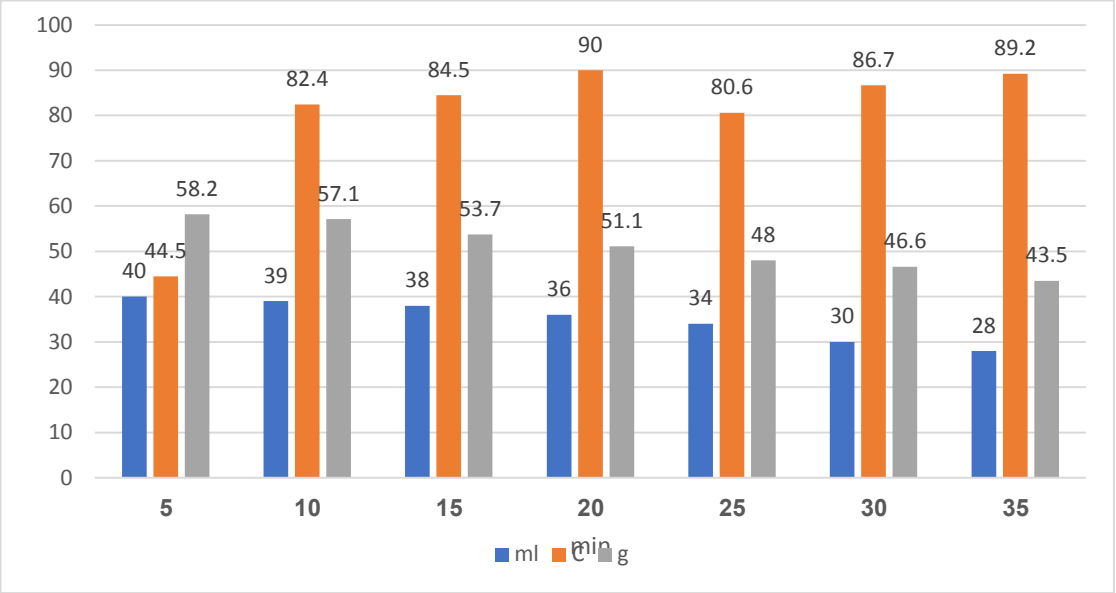


الشكل (4-4): التأثير المغناطيسي بعد 90 min بقوة 15,000 G

يُظهر الشكل **(4-4)** بيانات العينة الأولى بعد **90** min من المغنطة بقوة (15,000G) تحولاً ملحوظاً في نمط التبخر مقارنة بالمراحل السابقة للدراسة، حيث أصبح معدل التبخر أكثر تسارعاً في المراحل المتأخرة من فترة القياس، فبعد انخفاض طفيف في الحجم خلال الفترة الأولية من(**40**ml إلى **39**) في أول (5min) ، تسارع الانخفاض ليبلغ (25ml) عند نهاية فترة القياس، مسجلاً معدل تبخر إجمالي يقارب (**0.43** ml/min) وهو معدل يفوق ما تم تسجيله قبل المغنطة، وبالتوازي، انخفض كتلة العينة من g(**54.9** إلى**39.9**)، بفقدان كلي يبلغ (15g) خلال(35min) ، أما درجات الحرارة فقد سجلت ارتفاعاً ملحوظاً مع استقرار نسبي عند مستويات مرتفعة C^{O}(**91-89**) خلال النصف الثاني من فترة القياس، تكمن دلالة هذه النتائج في إشارتها إلى وجود نافذة زمنية مثلى للتأثير التثبيطي للمجال المغناطيسي على عملية التبخر، حيث يبدو أن التأثير يبلغ ذروته عند مدة تعريض تتراوح بين min (**30-60**)، ثم يبدأ بالتلاشي تدريجياً عند تجاوز(**90**min) ، هذا النمط يقترح حدوث تغيرات في الخصائص الجزيئية للماء المعالج مغناطيسياً مع الزمن، وربما عودة الماء إلى حالته الأصلية بعد فترة معينة من إزالة المجال المغناطيسي، تفتح هذه الملاحظة آفاقاً لدراسات لاحقة حول استدامة التأثير المغناطيسي على خصائص الماء عبر الزمن، وتحديد البروتوكولات المثلى للمعالجة المغناطيسية التي تضمن الاحتفاظ بالتأثير المرغوب لأطول فترة ممكنة، وهو ما يمثل أهمية بالغة لتطبيقات حقلية في إدارة موارد المياه.

جدول(4-5) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور 3h من المغنطة (v=40ml, T=29.5c^0, m=58.4g)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	44.5	58.2
10	39	82.4	57.1
15	38	84.5	53.7
20	36	90	51.1
25	34	80.6	48
30	30	86.7	46.6
35	28	89.2	43.5



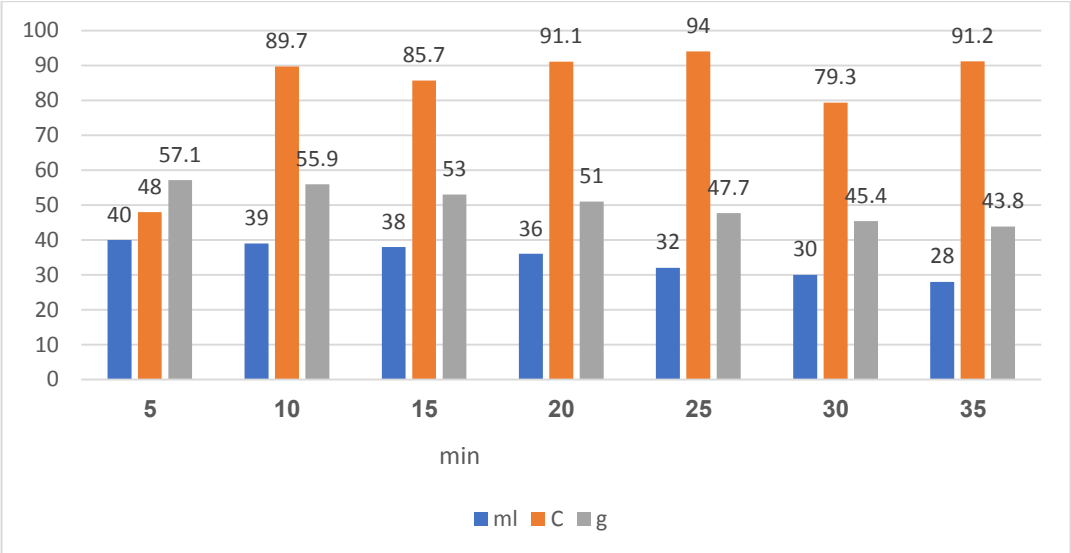
الشكل (4-5): التأثير المغناطيسي بعد 3h بقوة 15,000 G

يكشف الشكل (4-5) بيانات العينة الأولى بعد مرور3h من المغنطة بقوة (15,000G) عن تحول لافت في خصائص ماء البئر المعالج مغناطيسياً، يُلاحظ أن معدل التبخر عاد إلى مستويات معتدلة، حيث انخفض حجم الماء من ml (40 إلى 28) خلال فترة القياس البالغة (35min) ، بمعدل تبخر يقارب (0.34ml/min) ، وهو معدل يتوسط بين ما سُجل قبل المغنطة وبعد (60min) منها. ومن الملفت أن العينة احتفظت بحجمها الكامل (4ml) خلال الدقائق الخمس الأولى، مع انخفاض تدريجي بعد ذلك، مما يشير إلى وجود تأخير في بدء عملية التبخر، أما فيما يتعلق بالكتلة، فقد انخفض من(**58.2** إلى**43.5**)، بفقدان إجمالي يبلغ (**14.7**g)، بينما تذبذبت درجات الحرارة بشكل ملحوظ بين (**44.5** C^O) في بداية القياس إلى (**89.2** C^O) في نهايته، تكمن أهمية هذه النتائج في إثباتها أن تأثير

المعالجة المغناطيسية في خصائص الماء يتبع نمطاً زمنياً معقداً، حيث يبدأ بتقليل معدل التبخر عند مدد تعريض متوسطة min(**30–60**)، ثم يزداد معدل التبخر عند(90min) ، ليعود وينخفض نسبياً بعد (3h)، هذا النمط المتذبذب يشير إلى وجود آليات فيزيائية متداخلة تؤثر في سلوك جزيئات الماء المعالج مغناطيسياً، وربما يعكس تغيرات في التركيب العنقودي للماء مع مرور الزمن، تقدم هذه النتائج أساساً علمياً لتطوير نماذج رياضية للتنبؤ بسلوك الماء المعالج مغناطيسياً عبر فترات زمنية مختلفة، مما يمهد الطريق لتصميم أنظمة معالجة مغناطيسية للمياه ذات فعالية مستدامة في التطبيقات الزراعية والصناعية.

جدول (4–6) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور 6 h من المغنطة ($m=57.3g, v=40ml, T=28.2c^0$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	48	57.1
10	39	89.7	55.9
15	38	85.7	53
20	36	91.1	51
25	32	94	47.7
30	30	79.3	45.4
35	28	91.2	43.8

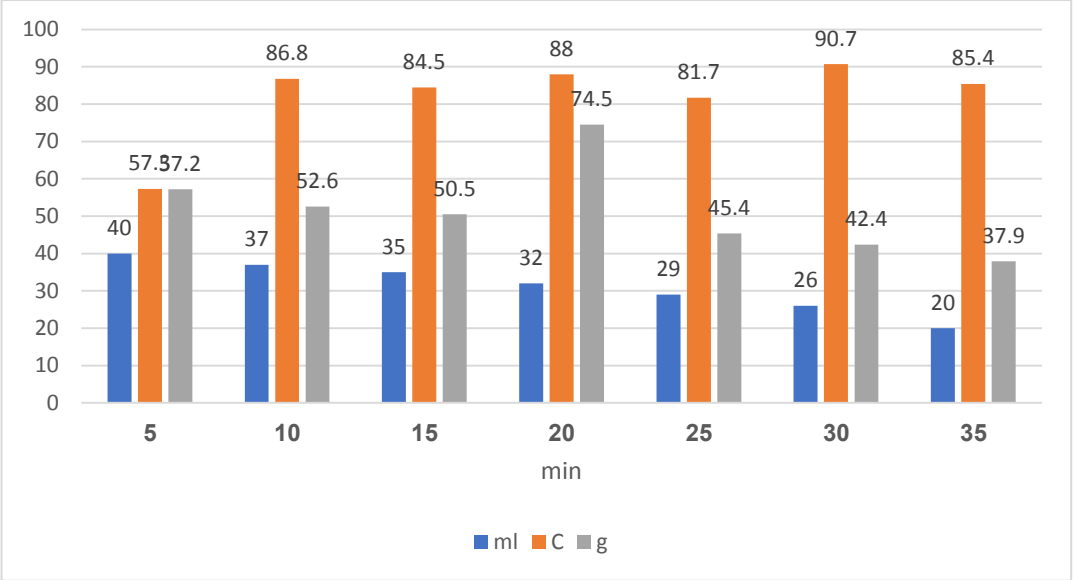


الشكل (4–6) التأثير المغناطيسي بعد 6h بقوة 15,000G

يوضح الشكل **(4–6)** بيانات العينة الأولى بعدh **6** من المغنطة بقــوة (15,000G) استقراراً نسبياً في سلوك التبخر مقارنة بالقياسات السابقة، فقد انخفــض حجــم المــاء مــن ml(**40**الى**28**) خلال فترة القياس البالغة (35min) ، بمعدل تبخر يبلــغ(**0.34**ml/min) ، وهو معدل مطابق تماماً لما سُجل بعد 3h من المغنطة، ويظل أقل من المعدل الأصــلي قبــل المغنطة، ولوحظ أيضاً نمط مشابه في انخفاض الكتلة، حيث تراجع من g(**57.1**الــى**43.8**) ، بفقدان إجمالي يبلغ(**13.3**g) ، ومن المثير للاهتمام أن درجات الحرارة سجلت قيماً مرتفعــة نسبياً تراوحت بين ($48c^0$)عند بداية القياس ($94c^0$) كحد أقصى، وهي أعلى القيم المسجلة في جميع مراحل الدراسة، تكمن دلالة هذه النتائج في توثيقهــا لظــاهرة اســتقرار التــأثير المغناطيسي على ماء البئر بعد فترة زمنية طويلة نسبياً، مما يشير إلى حدوث تغييرات هيكلية مستدامة في خصائص الماء المعالج مغناطيسياً، هذا الاستقرار في معدل التبخر بعد الســاعة الثالثة يقترح وجود "نقطة تشبع" للتأثير المغناطيسي، حيث تصل التغييرات فــي الخصــائص الفيزيائية للماء إلى حالة توازن جديدة، تفتح هذه النتائج آفاقاً واعدة لتطبيقات عملية في مجال المعالجة المغناطيسية للمياه، حيث تتيح تصميم نظام عمل معالجة تضمن استمرارية التــأثير المطلوب لفترات طويلة، وهو ما يعزز الجدوى الاقتصادية والتقنية لهذه الطريقة في تحســين كفاءة استخدام المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل مدينة الزاوية.

جدول (4–7) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور 9h من المغنطة ($m=57.6g, T=28.4c^0, V=40ml$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	57.3	57.2
10	37	86.8	52.6
15	35	84.5	50.5
20	32	88	74.5
25	29	81.7	45.4
30	26	90.7	42.4
35	20	85.4	37.9

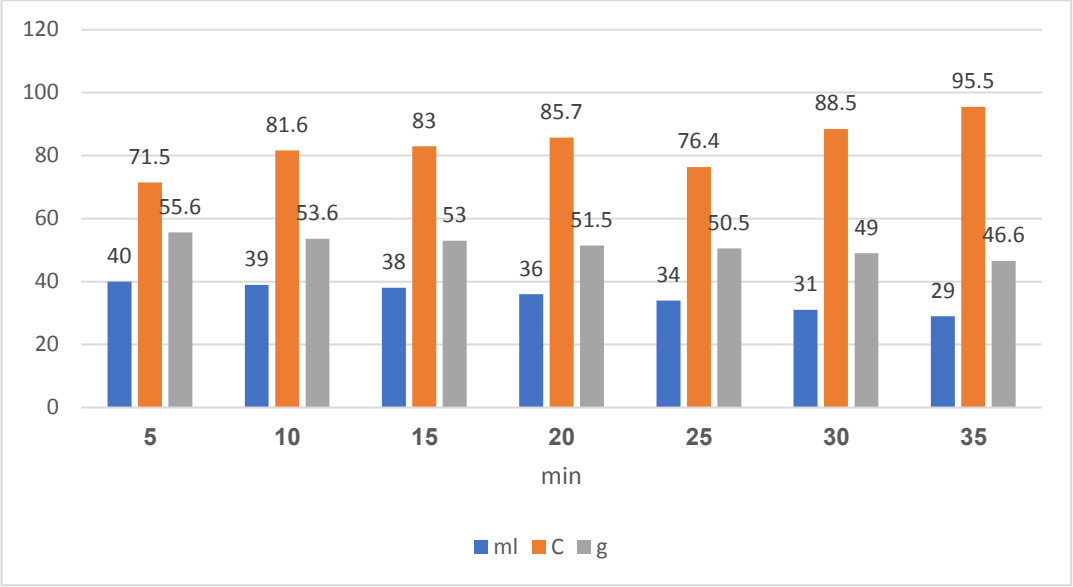


الشكل (4–7): التأثير المغناطيسي بعد 9h بقوة 15,000 G

الشكل **(4–7)**، يكشف بيانات العينة الأولى بعد مرور 9h من المغنطة بقوة (15,000G) تحولاً دراماتيكياً في سلوك التبخر مقارنة بالقياسات السابقة، فقد لوحظ تسارع ملحوظ في معدل التبخر، حيث انخفض حجم الماء من ml **(40** الى **20)** فقط خلال فترة القياس البالغة (35min) ، بمعدل تبخر مرتفع يبلغ(**0.57**ml/min) ، وهو معدل يتجاوز بنسبة **42%** ما سُجل قبل المغنطة (**0.4** ml/min)، ويتسق هذا مع الانخفاض الحاد في الكتلة من **57.2**g إلى **37.9**g ، بفقدان إجمالي يبلغ (**19.3**g) ، وهو الأعلى بين جميع القياسات. ومن الملاحظ أيضاً وجود قيمة شاذة في قياس الكتلة عند (20min) (**74.5**g)، مما قد يشير إلى خطأ قياس أو تأثير عامل خارجي مؤقت، تكمن دلالة هذه النتائج المفاجئة في إشارتها إلى انعكاس تأثير المعالجة المغناطيسية بعد فترة طويلة من الزمن، حيث تحول من تأثير مثبط للتبخر إلى تأثير محفز له، هذا التحول الجذري يقترح حدوث إعادة ترتيب هيكلي في مجموعات جزيئات الماء بعد فترة حرجة من إزالة المجال المغناطيسي، مما قد يؤدي إلى إضعاف الروابط الهيدروجينية بين الجزيئات وزيادة قابليتها للتبخر، تقدم هذه الملاحظة فهماً جديداً لديناميكية التأثير المغناطيسي على خصائص الماء عبر الزمن، وتسلط الضوء على أهمية مراعاة عامل الزمن في تصميم أنظمة المعالجة المغناطيسية للمياه، خاصة في التطبيقات التي تستهدف تقليل الفقد المائي عبر التبخر، حيث ينبغي تجديد المعالجة المغناطيسية قبل الوصول إلى نقطة الانعكاس هذه.

جدول (4–8) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور 12 h من المغنطة ($m=56.3g, T=29.6C^0, v=40ml$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	71.5	55.6
10	39	81.6	53.6
15	38	83	53
20	36	85.7	51.5
25	34	76.4	50.5
30	31	88.5	49
35	29	95.5	46.6



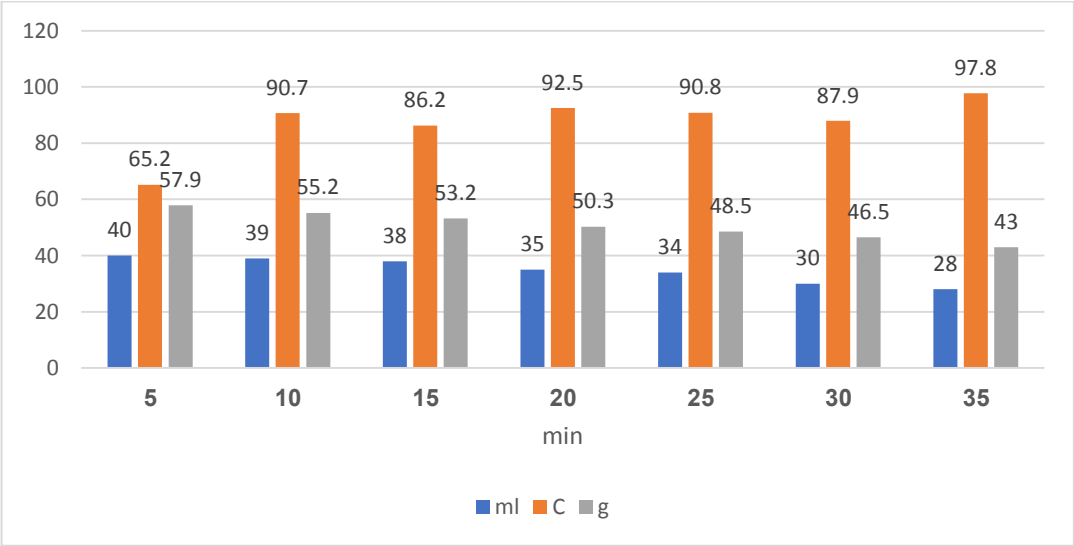
الشكل (4–8): التأثير المغناطيسي بعد 12 h بقوة 15,000 G

من الشكل (4–8) تقدم بيانات العينة الأولى بعد مرور 12 h من المغنطة بقوة (15,000G) منعطفاً مثيراً في مسار الدراسة، حيث يلاحظ عودة معدل التبخر إلى مستويات منخفضة بشكل ملحوظ مقارنة بالقياس السابق عند(9h) ، فقد انخفض حجم الماء من (40الى29)ml خلال فترة القياس البالغة(35min) ، بمعدل تبخر يبلغ(0.31ml/min)، وهو معدل أقل بنسبة 46% مما سُجل عند(9h) من المغنطة، وأقل حتى من المعدل الأصلي قبل المغنطة، كذلك انخفض الكتلة بشكل تدريجي ومنتظم (55.6الى 46.6)g، بفقدان إجمالي يبلغ (9g) فقط، وهو الأقل بين جميع القياسات، أما درجات الحرارة فقد سجلت ارتفاعاً متدرجاً وصل إلى ($95.5c^0$) في نهاية فترة القياس، وهي أعلى قيمة تم تسجيلها خلال الدراسة

بأكملها، تكمن دلالة هذه النتائج في كشفها عن طبيعة دورية متذبذبة للتأثير المغناطيسي على خصائص الماء عبر الزمن، متجاوزة الافتراض السابق بوجود نمط خطي بسيط، هذا التذبذب الدوري يشير إلى تفاعلات معقدة بين العوامل الفيزيائية والكيميائية في الماء المعالج مغناطيسياً، ويقترح وجود آليات تنظيم ذاتي تعيد ترتيب البنية الجزيئية للماء بشكل متكرر بعد إزالة المجال المغناطيسي. تفتح هذه الملاحظة مجالاً لنموذج نظري جديد لفهم ديناميكية الماء المعالج مغناطيسياً، يأخذ في الاعتبار المكون الزمني والطبيعة المتذبذبة للتأثير، مما قد يُحدث تحولاً في استراتيجيات تصميم أنظمة المعالجة المغناطيسية للمياه وتوقيت تطبيقها لتحقيق الهدف المطلوب من تقليل الفقد المائي أو تعزيزه حسب التطبيق المستهدف.

جدول (4–9) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور 24 h من المغنطة (m=58.3g, T=27.6C^0, V=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	65.2	57.9
10	39	90.7	55.2
15	38	86.2	53.2
20	35	92.5	50.3
25	34	90.8	48.5
30	30	87.9	46.5
35	28	97.8	43

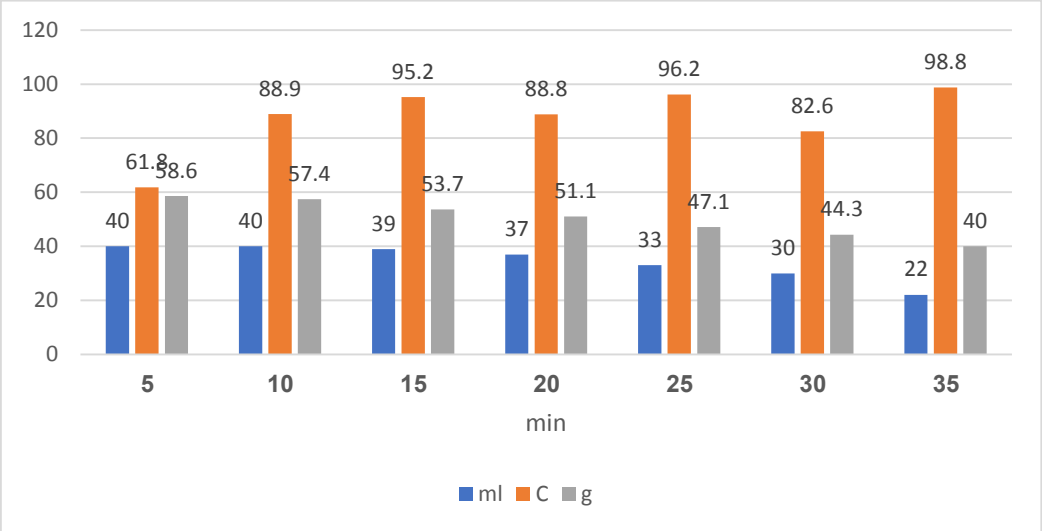


الشكل (4–9): التأثير المغناطيسي بعد 24 h بقوة 15,000 G

يُظهر الشكل (4–9) بيانات العينة رقم (1) تغيرات واضحة في معدل التبخر تحت تأثير المجال المغناطيسي بعد 24 h من المغنطة بقوة (15,000G) ، خلال (35min) من القياس، انخفض الحجم من ml(40 إلى 28)، مما يشير إلى فقدان(12 ml) من الماء بسبب التبخر، بمعدل تقريبي(0.34 ml/min) كما انخفض كتلة العينة من g(57.9 إلى 43) ، بفقدان(14.9g) ، وهو ما يتوافق تقريباً مع كثافة الماء المفقود بالتبخر، المثير للاهتمام أن درجة الحرارة لم تظهر نمطاً منتظماً؛ فقد تراوحت بين C^O (65.2 و 97.8) مع تذبذبات ملحوظة، هذا التفاوت في درجات الحرارة قد يُعزى إلى التأثيرات المغناطيسية على الروابط الهيدروجينية في الماء، مما يؤدي إلى تغيير في سلوك التبخر، إن التسارع في معدل فقدان الحجم والوزن خاصة بين min (15–20) و min(30–35) يشير إلى وجود "نقاط تحول" حرجة في عملية التبخر المتأثرة بالمغنطة، تكتسب هذه النتائج أهمية خاصة في سياق مدينة الزاوية حيث يمكن توظيف المعالجة المغناطيسية لتحسين كفاءة استخدام مياه الآبار في التطبيقات الزراعية والصناعية، كما تفتح آفاقاً لتطوير تقنيات جديدة للتحكم في خصائص المياه الجوفية دون إضافة مواد كيميائية، مما يمثل توجهاً واعداً في الأبحاث المائية المستدامة.

جدول(4–10) بيانات العينة رقم (1) بعد مرور 48 h من المغنطة (m=58.9g, T=28.5C^0, V=4Oml)

الكتلة / g	درجة الحرارة / C^0	الحجم / ml	الزمن / min
58.6	61.8	40	5
57.4	88.9	40	10
53.7	95.2	39	15
51.1	88.8	37	20
47.1	96.2	33	25
44.3	82.6	30	30
40	98.8	22	35



الشكل (4–10): التأثير المغناطيسي بعد 48 h بقوة 15,000 G

يقدم الشكل **(4–10)** تُظهر بيانات العينة رقم **(1)** بعـدh **48** مـن المغنطـة بقـوة (15,000G) تغيرات ملفتة في سلوك التبخر مقارنة بالقياسات السابقة، خلال فتـرة القيـاس البالغة(min **35**)، انخفض حجم الماء بشكل ملحوظ منml **(40** إلى **22)** ، بفقدان إجمـالي قدره (ml **18)** وهو ما يمثل معدل تبخر تقريبي يبلغ (ml/min **0.51**) أي بزيـادة **50%** عن معدل التبخر بعد (24h)من المغنطة، كما انخفض الكتلـة مـن g(**58.6**إلـى g**40)** ، بفقدان(g **18.6)**.

اللافت للنظر أن التبخر شهد تسارعاً متباين بعد (min **20)**، حيـث فقـدت العينـة (ml **15)** خلال الـ(15min) الأخيرة مقارنة بـ (ml **3**) فقـط خـلال الـ(20 min) الأولى، أما درجات الحرارة فقد استمرت في إظهار تذبذبات كبيرة تراوحت بين C^O(**61.8** و**98.8**) . هذه النتائج تشير إلى أن التأثير المغناطيسي على خصائص الماء يتعزز مع زيادة فترة التعرض للمجال المغناطيسي، مما يؤدي إلى تغييرات هيكلية أعمق في جزيئات المـاء وروابطها الهيدروجينية. توفر هذه البيانات أدلة قويـة علـى إمكانيـة اسـتخدام المعالجـة المغناطيسية طويلة المدى كوسيلة فعالة للتحكم في خصائص تبخر مياه الآبـار فـي مدينـة الزاوية، مما يفتح المجال لتطبيقات واعدة في مجالات إدارة الموارد المائية وتقنيات التكييـف وأنظمة التبريد المستدامة.

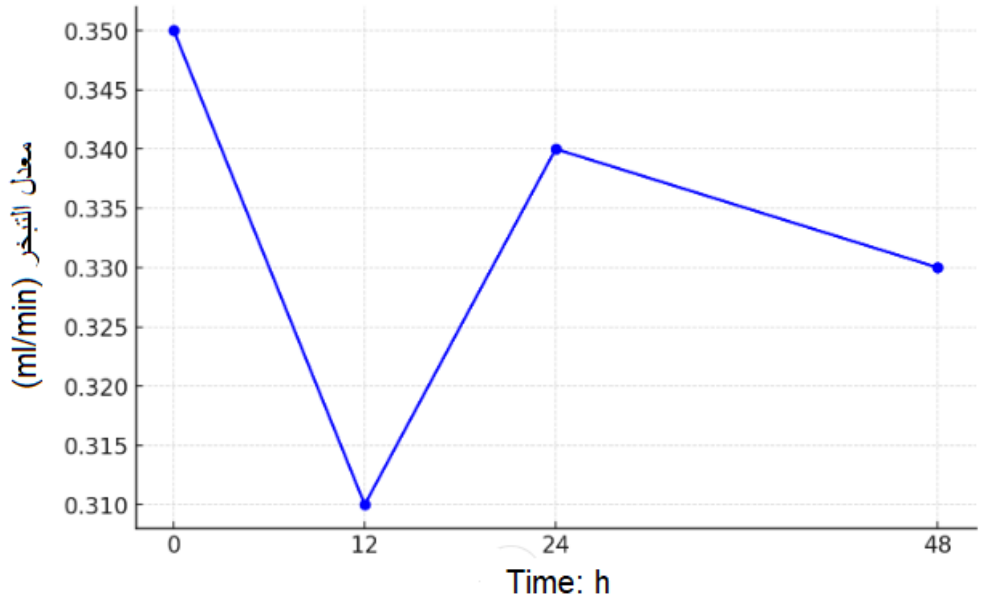
وبناءً على تحليل البيانات للعينة رقم **(1)** (قبل وبعد المغنطة علـى فتـرات زمنيـة مختلفة)، فإن النتائج الرئيسية لاختبار تأثير المجال المغناطيسي في معدل التبخر لهذه العينـة هي كالتالي:

1- قبل المغنطة: كان معدل التبخر للعينة حوالي (ml/min **0.4**) ، وكان هذا بمثابـة خـط الأساس للمقارنة.

2- بعد المغنطة بفترات زمنية قصيرة إلى متوسطة (30min، 60min ، 3h، 6h)، لـوحظ انخفاض في معدل التبخر مقارنة بالحالة قبل المغنطة، وكان أدنى معدل تبخر تم تسجيله (ml/min**0.29**) بعد المغنطة بـ(min **60)** ، مما يشير إلـى تـأثير مثـبط للمجـال المغناطيسي على عملية التبخر في هذه الفترة، واستمر معدل التبخر منخفضاً أو معتـدلاً عند(ml/min **0.34**) بعد h 6 , 3 ، تُشير النتائج في هذه الفتـرات إلـى أن المعالجـة المغناطيسية تعزز القوى بين جزيئات الماء مما يقلل قابليتها للتبخر.

3- بعد المغنطة بفترة زمنية أطول (90min-9h-48h)، حدث تسارع ملحوظ في معدل التبخر مقارنة بفترات التأثير المثبط وحتى مقارنة بالحالة قبل المغنطة، وكان أعلى معدل تبخر تم تسجيله كان(**0.57** ml/min) بعد المغنطة بـ(9h)، وهو أعلى بنسبة **42%** من المعدل الأصلي، ولوحظ معدل تبخر مرتفع أيضاً(**0.51**ml/min) بعد(48h)، يُشير هذا التسارع إلى انعكاس تأثير المعالجة المغناطيسية بعد فترة زمنية معينة، حيث يتحول من تثبيط إلى تحفيز التبخر.

4- بعد المغنطة بفترة زمنية طويلة جدًا (12h-24h-48h)، عاد معدل التبخر للانخفاض مرة أخرى، مسجلاً (**0.31** ml/min)بعد(12h)، وهو أدنى معدل تم تسجيله في هذه العينة، وأقل من المعدل الأصلي، وعاد المعدل ليصبح (**0.34** ml/min) بعد (24h) ، هذه النتائج تشير إلى أن التأثير ليس خطياً بل قد يتبع نمطاً متذبذباً أو دورياً مع الزمن.



الشكل (4-11): يوضح التذبذب في معدل التبخر بعد المعالجة المغناطيسية على مدى 48 h

نستنتج مما سبق، أن للمجال المغناطيسي تأثيرا على معدل تبخر ماء العينة رقم **1** "منطقة بئر معمر"، وهذا التأثير يعتمد بشكل كبير على فترة التعرض أو المدة الزمنية التي تمر بعد إزالة المجال المغناطيسي، كما أن التأثير يبدأ مثبطاً لمعدل التبخر في الفترات الأولى **(30-60)**min ثم يبدو أنه يبلغ ذروة التثبيط ويتحول تدريجياً إلى محفز (30min-9h)، ثم يعود للانخفاض مرة أخرى (12h-24h)، قبل أن يرتفع مجدداً (48h)، وهذا النمط المعقد

المتغير زمنياً يوحي بحدوث تغيرات هيكلية أو جزيئية في الماء المعالج مغناطيسياً تتطور وتتغير بمرور الوقتكما موضح بالشكل **(4-11)**، وبالتالي تبرز النتائج أهمية دراسة العامل الزمني عند تصميم وتطبيق المعالجة المغناطيسية لأغراض التحكم في التبخر، حيث توجد "نقطة انعكاس" أو "نافذة زمنية مثلى" للتأثير المرغوب (تقليل التبخر).

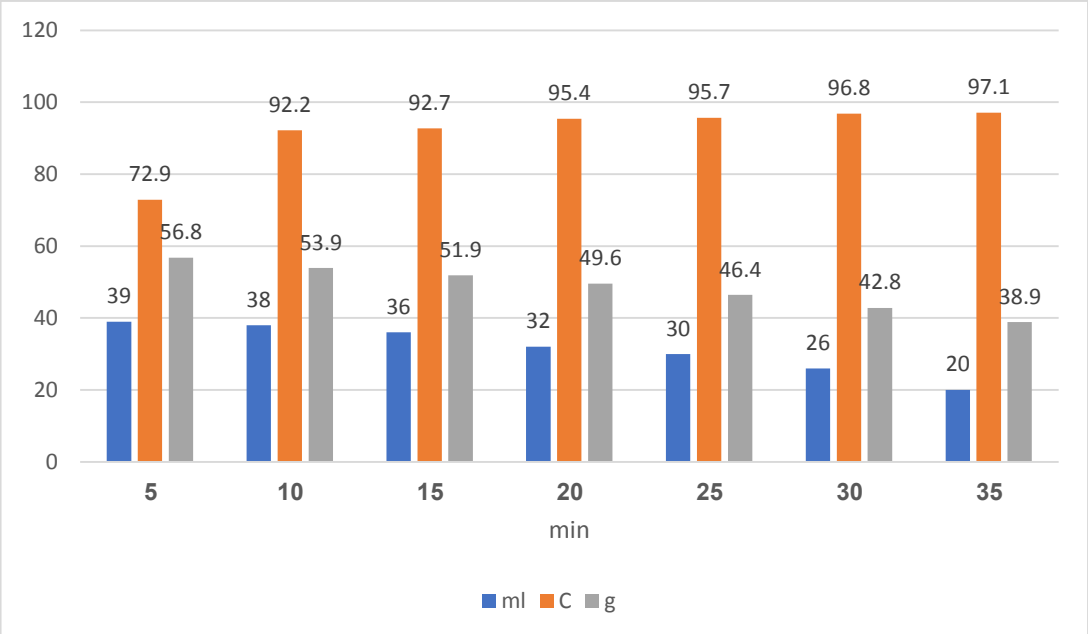
2.1.4. العينة رقم (2): من منطقة جود دائم، عمق البئر (90 متر)

1.2.1.4. العينة رقم (2) قبل المغنطة

بيانات العينة رقم 2

جدول(4-11) بيانات العينة رقم (2) قبل المغنطة ($T=21.6c^0$, v=40ml, m=57.3g)

g	C^0	ml	min
56.8	72.9	39	5
53.9	92.2	38	10
51.9	92.7	36	15
49.6	95.4	32	20
46.4	95.7	30	25
42.8	96.8	26	30
38.9	97.1	20	35



الشكل (4-12): يوضح خصائص العينة 2 قبل المغنطة

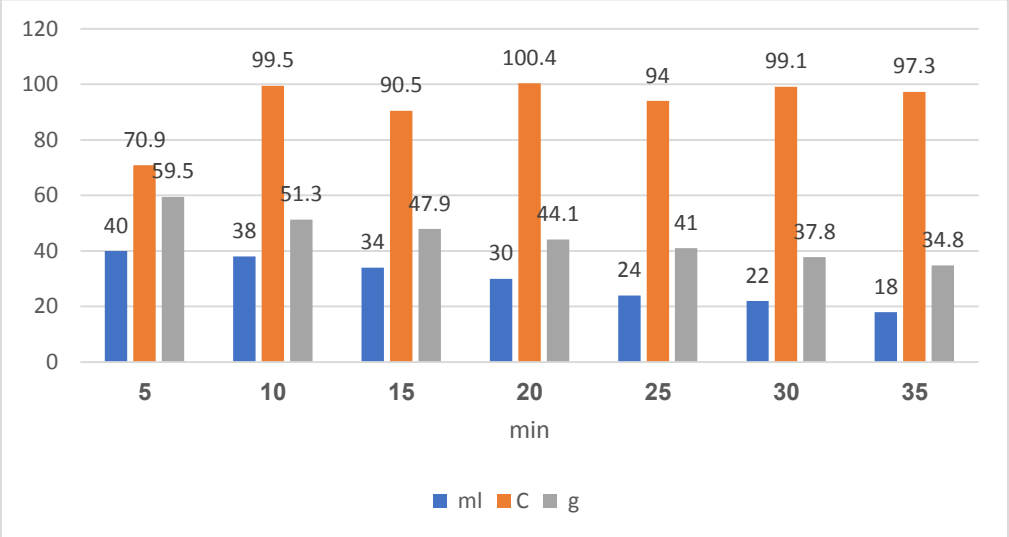
تُظهر النتائج المعروضة بالشكل (4-12) سلوكاً طبيعياً لتبخر مياه الآبار في الظروف القياسية، خلال فترة القياس البالغة (35min) ، انخفض حجم العينة من ml (39 الى 20) ، بفقدان إجمالي قدره (19 ml) ، ما يعادل معدل تبخر يبلغ(0.54 ml/min)، كما انخفض كتلة العينة من(56.8g إلى 38.9)، بفقدان (17.9g)، أما درجة الحرارة فقد ارتفعت من ($72.9c^0$) في بداية القياس إلى ($97.1c^0$) في نهايته، مع ملاحظة نمط تصاعدي أكثر انتظاماً واستقراراً نسبياً بعد الدقيقة العاشرة، هذه البيانات تُعد قاعدة مرجعية مهمة لتقييم سلوك مياه الآبار في حالتها الطبيعية قبل أي معالجة مغناطيسية، وهي تشير إلى أن عملية التبخر تتسارع بشكل ملحوظ في الفترة بين(15-25)min، حيث تم فقدان (6ml) خلال هذه الفترة، وهذه النتائج تمكننا لاحقاً من إجراء مقارنات دقيقة بين سلوك العينات المختلفة قبل وبعد المعالجة المغناطيسية، مما يساعد في تقييم فعالية هذه التقنية في التحكم بخصائص المياه.

العينة رقم (2) بعد المغنطة:

جدول(4-12) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور 30 min من المغنطة ($m=55.5g, v=40ml, T=23.9C^0$)

g	C^0	ml	Min
59.5	70.9	40	5
51.3	99.5	38	10
47.9	90.5	34	15
44.1	100.4	30	20
41	94	24	25
37.8	99.1	22	30
34.8	97.3	18	35

2.2.1.4. العينة رقم (2) بعد المغنطة:

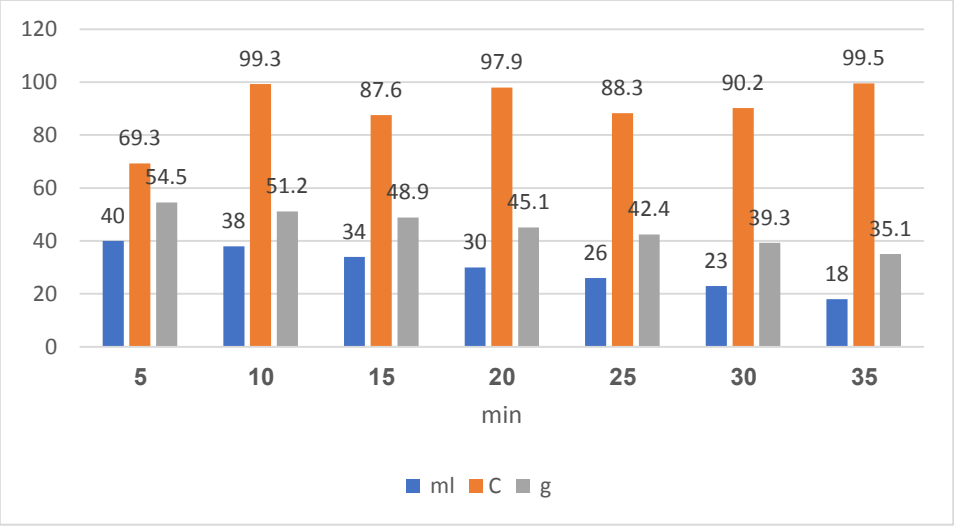


الشكل (4-13): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 30 min من المجال مغناطيسي

يُظهر الشكل **(4–13)** بيانات العينة رقم **(2)** بعد مرور min **30** من المغنطة بقوة (15,000G)، حيث تكشف عن تغيرات مثيرة للاهتمام في سلوك التبخر مقارنةً بحالتها قبل المغنطة، خلال فترة القياس البالغة(35min)، انخفض حجم الماء منml(**40** إلى **18**)، بفقدان إجمالي قدره (22ml) مما يمثل معدل تبخر قدره (**0.63** ml/min) وهو معدل أعلى بنسبة **16.7%** من العينة نفسها قبل المغنطة، بالتوازي، انخفض كتلة العينة منg(**59.5** إلى **34.8**) ، بفقدان (**24.7** g) ، وهو ما يتجاوز الفقد الوزني للعينة قبل المغنطة بشكل ملحوظ، أما درجات الحرارة فقد أظهرت تذبذبات كبيرة تراوحت بينC^O(**70.9** و **100.4**)، مع ملاحظة وصولها لأعلى قيمة عند(**20** min)، ومن اللافت للنظر سرعة التبخر العالية خصوصاً بين الوقت (15-25) min حيث فقدت العينة (**10**ml)خلال هذه الفترة القصيرة، وهذه النتائج تشير إلى أن المعالجة المغناطيسية قصيرة المدى (30min) تعمل على تسريع عملية التبخر، على عكس التأثير المبطئ الذي لوحظ في العينة رقم **(1)** بعد (**24** h) من المغنطة، هذا التباين في التأثير يكشف عن وجود علاقة معقدة بين مدة التعرض للمجال المغناطيسي والتغيرات في الخصائص الفيزيائية لمياه الآبار، مما قد يتيح إمكانية التحكم الدقيق في معدل التبخر عبر ضبط فترة المعالجة المغناطيسية وفقاً للاحتياجات التطبيقية المختلفة.

جدول (4–13) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور min 60 من المغنطة ($m=55.2g, v=40ml, T=24.6C^0$)

g	C	ml	Min
54.5	69.3	40	5
51.2	99.3	38	10
48.9	87.6	34	15
45.1	97.9	30	20
42.4	88.3	26	25
39.3	90.2	23	30
35.1	99.5	18	35

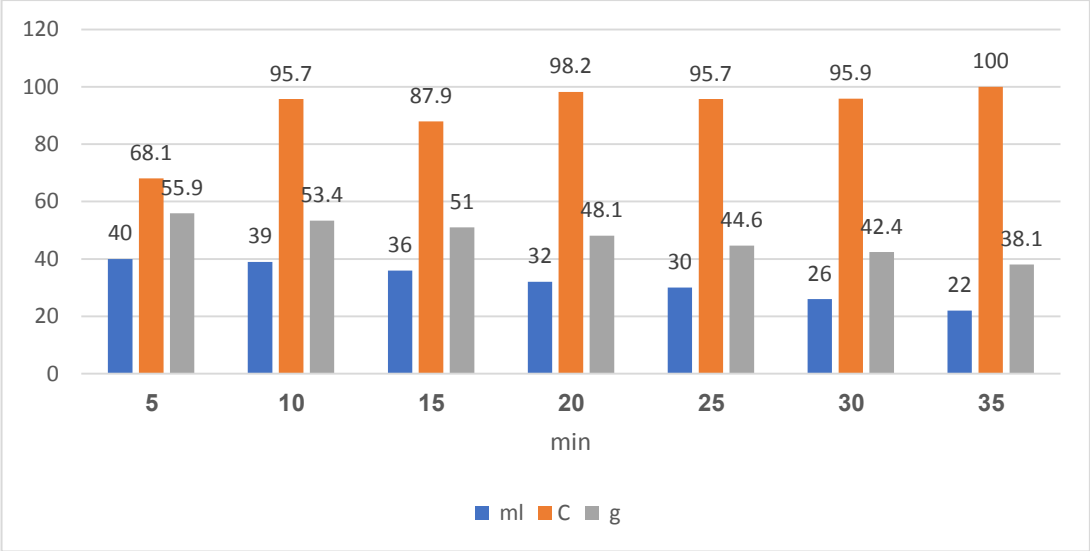


الشكل (4–14): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور min 60 من المجال مغناطيسي

يُظهر الشكل (4−14) تمثيلاً بيانياً للعينة رقم (2) بعد60 min **60** من المغنطة بقوة (15,000G) حيث يُقدم رؤى قيّمة لتطور سلوك التبخر مع زيادة فترة التعرض للمجال المغناطيسي، فخلال فترة القياس البالغة (35min)، انخفض حجم العينة من ml(**40** إلى **18**)، مسجلةً فقداناً إجمالياً قدره (22ml) ، وهو يماثل تماماً معدل الفقد بعد (30min) من المغنطة (**0.63**ml/min) ، ومع ذلك، يُلاحظ تغير في نمط التبخر، حيث أصبح أكثر انتظاماً خلال الفترات الزمنية المختلفة. انخفض كتلة العينة من g (**54.5** إلى **35.1**)، بفقدان إجمالي قدره g **19.4**، وهو أقل من الفقد الوزني المسجل بعد (30min) من المغنطة (**24.7**g)، مما يشير إلى تغير في كثافة الماء المتبخرة، أما درجات الحرارة فقد استمرت في إظهار تذبذبات كبيرة تراوحت بينC^0(**69.3** و**99.5**)، مع نمط مشابه للقياسات السابقة، ومن المثير للاهتمام أن الفترة الزمنية بين min(**20** و**30**) شهدت تباطؤاً نسبياً في معدل التبخر مقارنةً بنفس الفترة بعد (30min) من المغنطة، وهذه النتائج تدعم فرضية وجود "نافذة زمنية مثالية" للمعالجة المغناطيسية، حيث تؤدي زيادة فترة التعرض إلى تعديل بعض التأثيرات الناتجة عن المعالجة قصيرة المدى، التشابه في إجمالي حجم الماء المفقود (ml **22**) مع اختلاف الفقد الوزني يشير إلى تغيرات محتملة في الخصائص الفيزيائية للماء، مثل الكثافة أو التوتر السطحي، مما يفتح آفاقاً واعدة لاستخدام هذه التقنية في تطبيقات معالجة المياه والتحكم في خصائصها.

جدول (4−14) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور90 min من المغنطة (m=56.3g, T=24.1C^0, v=40ml)

g	C^0	ml	Min
55.9	68.1	40	5
53.4	95.7	39	10
51	87.9	36	15
48.1	98.2	32	20
44.6	95.7	30	25
42.4	95.9	26	30
38.1	100	22	35

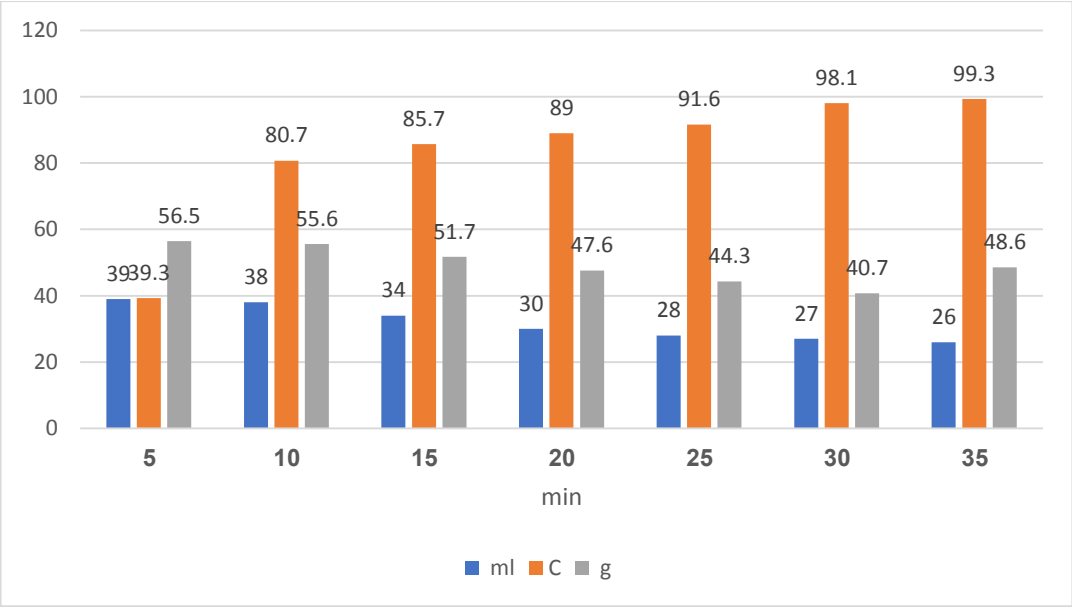


شكل (4–15): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 90 min من المجال مغناطيسي

يعرض الشكل **(4–15)** تمثيلاً بيانياً بيانات العينة رقم **(2)** بعد **90** min من المغنطة بقوة (15,000G) ، حيث يقدم صورة متطورة لتأثير المعالجة المغناطيسية طويلة المدى على خصائص تبخر مياه الآبار، خلال فترة القياس البالغة (35min) ، انخفض حجم الماء من **40**ml إلى **22** ، بفقدان إجمالي قدره (**18**ml) ، وهو ما يمثل معدل تبخر يبلغ (0.51ml/min) أقل بنسبة **19%** من معدل التبخر بعد min **(30** و**60**) من المغنطة. بالتوازي، انخفض كتلة العينة من g(**55.9** إلى **38.1**) ، بفقدان إجمالي قدره (17.8g)، وهو أقل من الفقد الوزني في الحالات السابقة، أما درجات الحرارة فقد استمرت في إظهار تذبذبات، لكنها كانت أكثر استقراراً نسبياً مقارنة بالقياسات السابقة، مع ملاحظة وصولها إلى ($100c^0$) في نهاية فترة القياس، ومن اللافت للنظر أن معدل التبخر أصبح أكثر تدرجاً وانتظاماً، مع انخفاض واضح في سرعة التبخر خلال الـ (15min) الأولى مقارنة بالقياسات السابقة، هذه النتائج تعزز نظرية أن المعالجة المغناطيسية تمر بمراحل مختلفة من التأثير على خصائص الماء، حيث تبدأ بتسريع عملية التبخر في المراحل المبكرة **(30–60)**min ثم تتحول تدريجياً نحو إبطاء عملية التبخر مع زيادة فترة المعالجة، هذا النمط المتغير قد يرتبط بإعادة تنظيم الروابط الهيدروجينية وتجمعات جزيئات الماء تحت تأثير المجال المغناطيسي المستمر، مما يفتح آفاقاً واعدة لتوظيف هذه الظاهرة في تطبيقات تخزين المياه وإدارة الموارد المائية في المناطق الجافة.

جدول (4–15) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور 3h من المغنطة (m=56.7g, T=20.1c^0, v=40ml)

g	C^0	ml	Min
56.5	39.3	39	5
55.6	80.7	38	10
51.7	85.7	34	15
47.6	89	30	20
44.3	91.6	28	25
40.7	98.1	27	30
48.6	99.3	26	35



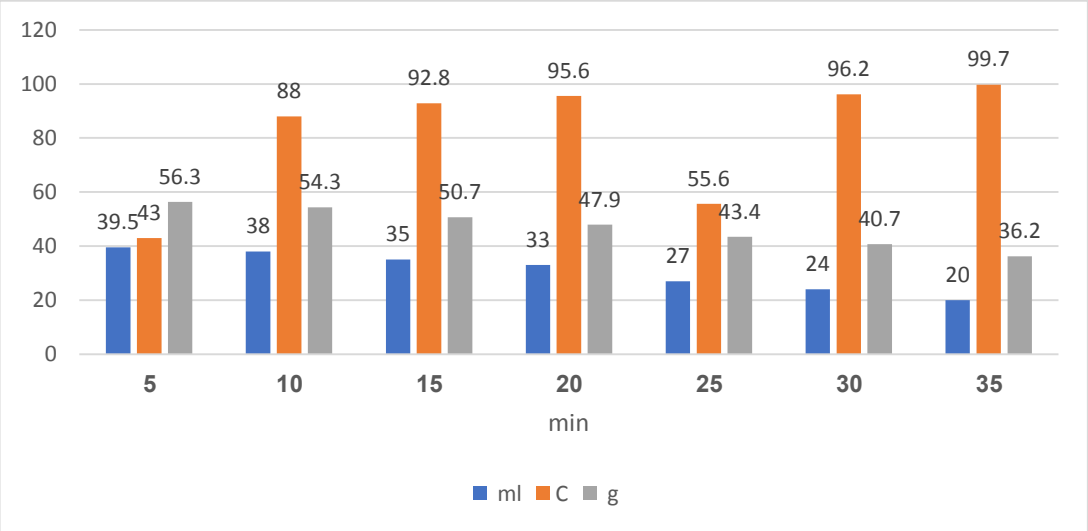
شكل (4–16): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 3h من المجال مغناطيسي

تكشف بيانات العينة رقم (2) بعد 3h من المغنطة بقوة (15,000G) المعروضة في يُظهر الشكل (4–16) عن تحول جوهري في سلوك تبخر مياه الآبار، مقارنة بالفترات الزمنية السابقة، خلال فترة القياس البالغة (35min)، انخفض حجم الماء من ml(39–26)، بفقدان إجمالي قدره (13ml) فقط، وهو ما يمثل معدل تبخر يبلغ (0.37 ml/min) أي انخفاض بنسبة 41% مقارنة بمعدل التبخر بعد min من المغنطة، والتطور الأكثر إثارة للاهتمام يظهر في نمط تغير الكتلة، حيث انخفض من g(56.5 إلى 40.7) بحلول min (30)، لكنه ارتفع بشكل مفاجئ إلى(g 48.6) في (35 min)، مما يشير إلى ظاهرة غير متوقعة قد ترتبط بتكثف البخار أو تغيرات في الكثافة، أما درجات الحرارة فقد بدأت

بمستوى منخفض نسبياً ($39.3c^0$) مقارنة بالقياسات السابقة، ثم ارتفعت تدريجياً لتصل إلى(c^0 **99.3**) في نهاية القياس، ومن اللافت للنظر أيضاً تباطؤ ملحوظ في معدل التبخر بين الوقتين(**25** min و**35**)، حيث فقدت العينة (2ml) فقط خلال هذه الفترة، مقارنة بفقدان (**8**ml) خلال نفس الفترة بعد (30min) من المغنطة. هذه النتائج تدعم بقوة فرضية أن المعالجة المغناطيسية طويلة المدى (3h) تعمل على إبطاء عملية التبخر بشكل كبير، وتغيير الخصائص الفيزيائية للماء بطرق معقدة، هذا الاكتشاف يمكن أن يكون ذا قيمة كبيرة في تطبيقات الحفاظ على المياه في المناطق الجافة، حيث يمكن استخدام المعالجة المغناطيسية كوسيلة فعالة لتقليل فقدان المياه بالتبخر، وبالتالي تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية.

جدول (4–16) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور 6h من المغنطة (m=56.7g, T=22c^0, v=40ml)

g	C^0	ml	Min
56.3	43	39.5	5
54.3	88	38	10
50.7	92.8	35	15
47.9	95.6	33	20
43.4	55.6	27	25
40.7	96.2	24	30
36.2	99.7	20	35

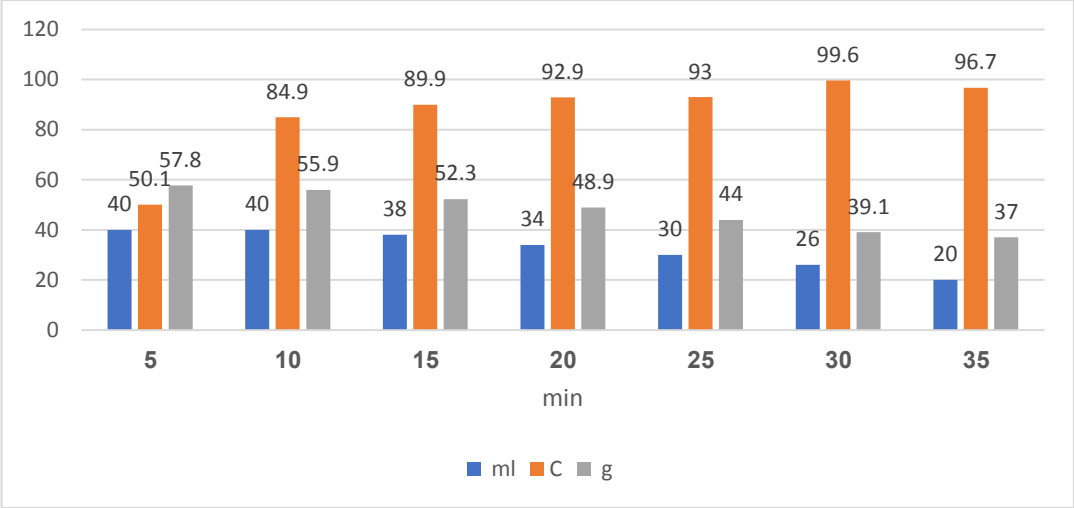


شكل(4–17): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 6h من المجال مغناطيسي

يوضح الشكل **(4–17)** بيانات العينة رقم **(2)** بعد 6h من المغنطة بقوة (15,000G)، حيث يظهر تحولاً لافتاً في سلوك تبخر مياه الآبار، مقارنةً بالقياسات السابقة، فخلال فترة القياس البالغ(35min) انخفض حجم الماء من**(39.5 –20)** ml ، بفقدان إجمالي قدره (19.5ml) ، وهو ما يمثل معدل تبخر يبلغ **(0.56**ml/min) أي زيادة بنسبة **51%** مقارنة بمعدل التبخر بعد (3h) من المغنطة، بالتوازي، انخفض كتلة العينة من **(56.3** g إلى **36.2)** بفقدان(20.1g)، المثير للاهتمام في هذه البيانات هو الانخفاض الحاد في درجة الحرارة عند (325min)، حيث هبطت من c^0**(95.6** إلى **55.6)** ، قبل أن ترتفع مجدداً إلى ($96.2c^0$) في (30min) ،هذا التذبذب الحراري غير المعتاد قد يشير إلى تغيرات هيكلية في ترتيب جزيئات الماء تحت تأثير المعالجة المغناطيسية طويلة المدى، كما يلاحظ تسارع كبير في معدل التبخر بين الوقتين (20min و**25**min) ، حيث فقدت العينة(6ml) خلال هذه الفترة القصيرة، مصحوباً بانخفاض درجة الحرارة، هذه النتائج تكشف عن وجود دورة تأثير متناوبة للمعالجة المغناطيسية في خصائص الماء، حيث يبدو أن التأثير المبطئ للتبخر الذي ظهر بعد (3h) من المغنطة قد تراجع بعد (6h) ، ليعود معدل التبخر إلى مستويات مقاربة للحالة الطبيعية قبل المغنطة، هذه الدورة المتناوبة للتأثير المغناطيسي تفتح آفاقاً جديدة لفهم آليات تفاعل المجالات المغناطيسية مع المياه، وتتيح إمكانية تصميم بروتوكولات معالجة مخصصة لتحقيق تأثيرات محددة حسب الاحتياجات التطبيقية المختلفة في مجالات إدارة المياه.

جدول (4–17) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور9h من المغنطة ($m=58.1g, v=40ml, T=22.1c^0$)

g	C^0	ml	Min
57.8	50.1	40	5
55.9	84.9	40	10
52.3	89.9	38	15
48.9	92.9	34	20
44	93	30	25
39.1	99.6	26	30
37	96.7	20	35

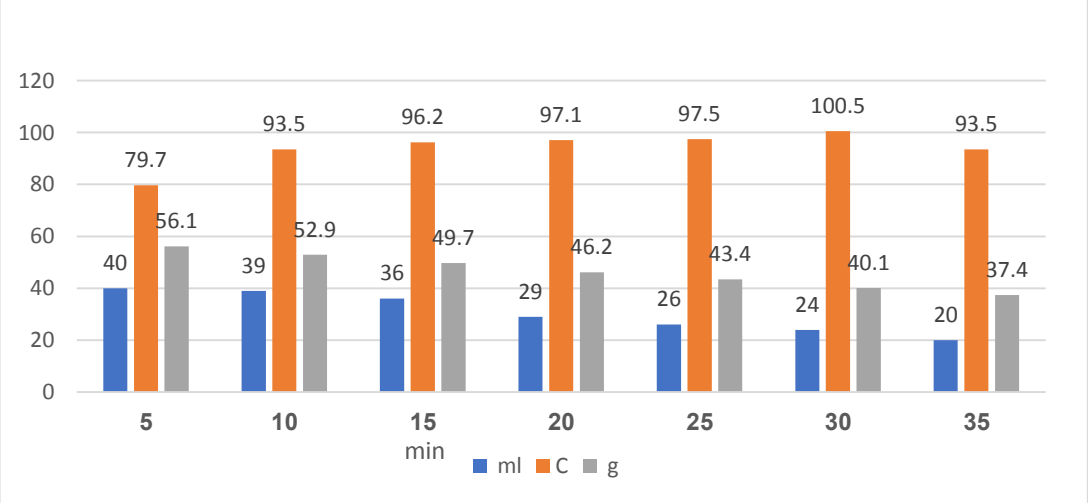


شكل (4-18): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور9h من المجال مغناطيسي

يعرض الشكل **(4-18)** بيانات العينة رقم **(2)** بعد 9h من المغنطة بقوة (**15,000**G) حيث تقدم رؤية متعمقة لاستمرار تطور سلوك تبخر مياه الآبار تحت التأثير المغناطيسي الممتد. خلال فترة القياس البالغة (35min)، انخفض حجم الماء من ml(**40** إلى **20**)، بفقدان إجمالي قدره (20ml)، مما يمثل معدل تبخر يبلغ (0.57ml/min) ، وهو قريب جداً من المعدل المسجل بعد (6h) من المغنطة (0.56ml/min)، ومع ذلك، يلاحظ تغير في نمط التبخر، حيث استقر الحجم دون تغيير خلال الدقائق الخمس الأولى، ثم تسارع بشكل ملحوظ بعد (15min)، انخفض كتلة العينة منg (**57.8** إلى **37**)، بفقدان إجمالي قدره (20.8g)، بتناسب وثيق مع الحجم المفقود، أما درجات الحرارة فقد بدأت منخفضة نسبياً ($50.1c^0$) ثم ارتفعت تدريجياً لتصل إلى ذروتها ($99.6c^0$) عند (30min) ، قبل أن تنخفض قليلاً في نهاية القياس، ومن المثير للاهتمام أن نمط التبخر بعد(9h) من المغنطة يشير إلى استقرار تأثير المعالجة المغناطيسية على خصائص الماء، حيث استقر معدل التبخر عند مستويات متقاربة بعد (**6h** و**9h**) ، وهذا يدعم فرضية وجود "مرحلة استقرار" تصل إليها المياه المعالجة مغناطيسياً بعد فترات طويلة من المغنطة، بعد أن تمر بمراحل متذبذبة خلال الساعات الأولى من المعالجة، تعزز هذه النتائج فهمنا للديناميكيات الزمنية لتأثير المجالات المغناطيسية على مياه الآبار، وتقدم أساساً علمياً لتصميم بروتوكولات معالجة مغناطيسية موثوقة ومتوقعة النتائج، ويمكن توظيف هذه المعرفة في تطوير تقنيات مبتكرة لإدارة الموارد المائية في المناطق الجافة، بما يسهم في تحسين كفاءة استخدام المياه في التطبيقات الزراعية والصناعية.

جدول (4–18) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور 12 h من المغنطة (m=57g, T=21.5C^0, v=40ml)

g	C^0	ml	Min
56.1	79.7	40	5
52.9	93.5	39	10
49.7	96.2	36	15
46.2	97.1	29	20
43.4	97.5	26	25
40.1	100.5	24	30
37.4	93.5	20	35



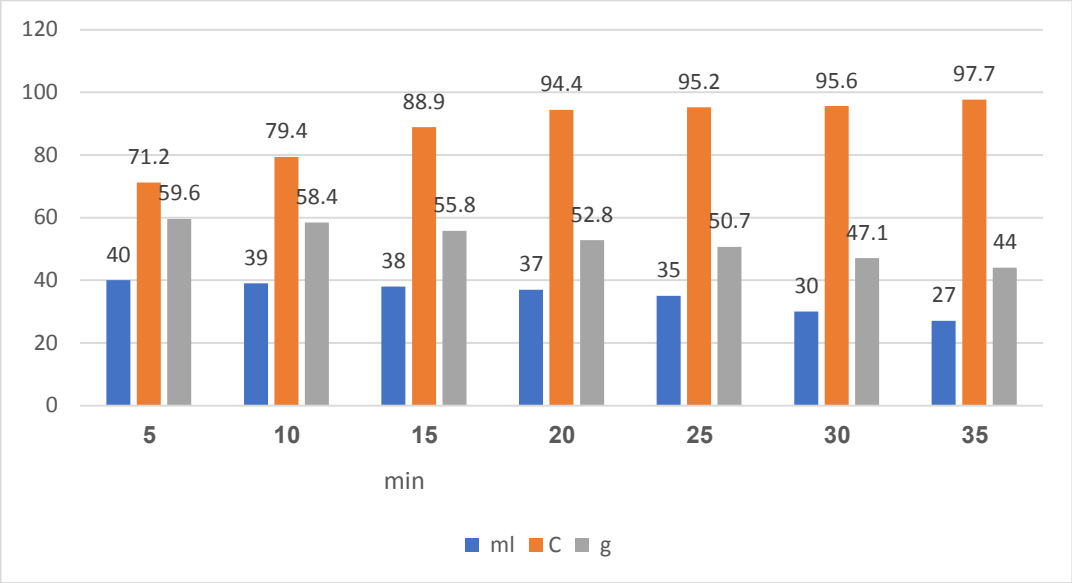
شكل (4–19) يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 12 h من المجال مغناطيسي

تُظهر الشكل **(4–19)** حالة مثيرة للاهتمام لتأثير المجال المغناطيسي على معدل تبخر مياه الآبار بمدينة الزاوية بعد(12h) من المغنطة بقوة (**15,000**G)، حيث يمكن ملاحظة تناقص تدريجي في حجم الماء من ml(**40** إلى **20**) خلال فترة التجربة البالغة (35min) ، مترافقاً مع انخفاض في الكتلة من g(**56.1** إلى **37.4**)، وهو ما يشير إلى علاقة طردية بين فقدان الحجم والكتلة. اللافت للنظر هو السلوك غير المنتظم لدرجة الحرارة، التي ارتفعت تدريجياً من (79.7c^0) لتصل إلى ذروتها عند (**100.5**c^0) في (30min)، ثم انخفضت إلى (93.5c^0) في نهاية التجربة، هذا النمط يوحي بتأثير المجال المغناطيسي في خصائص الماء الحرارية، مما قد يؤثر على روابط الهيدروجين وترتيب جزيئات الماء. معدل التبخر كان ملحوظاً بشكل خاص في الفترة من min **(15** إلى **20)** حيث انخفض الحجم من ml **36)** الى

29) تشير هذه النتائج إلى أن معالجة المياه مغناطيسياً تؤثر في سلوكها الفيزيائي، وقد يكـــون لها تطبيقات مهمة في مجالات تحلية المياه ومعالجتها، خصوصاً في المناطق التي تعاني مـــن ندرة المياه العذبة، يجب إجراء المزيد من الدراسات لتوضيح الآليات الفيزيائية الدقيقـــة وراء هذه الظاهرة وإمكانية تطبيقها على نطاق واسع في تقنيات معالجة المياه المستدامة.

جدول (4–19) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور 24 h من المغنطة ($m=60.1g, v=40ml, T=19.5C^0$)

g	C^0	ml	Min
59.6	71.2	40	5
58.4	79.4	39	10
55.8	88.9	38	15
52.8	94.4	37	20
50.7	95.2	35	25
47.1	95.6	30	30
44	97.7	27	35



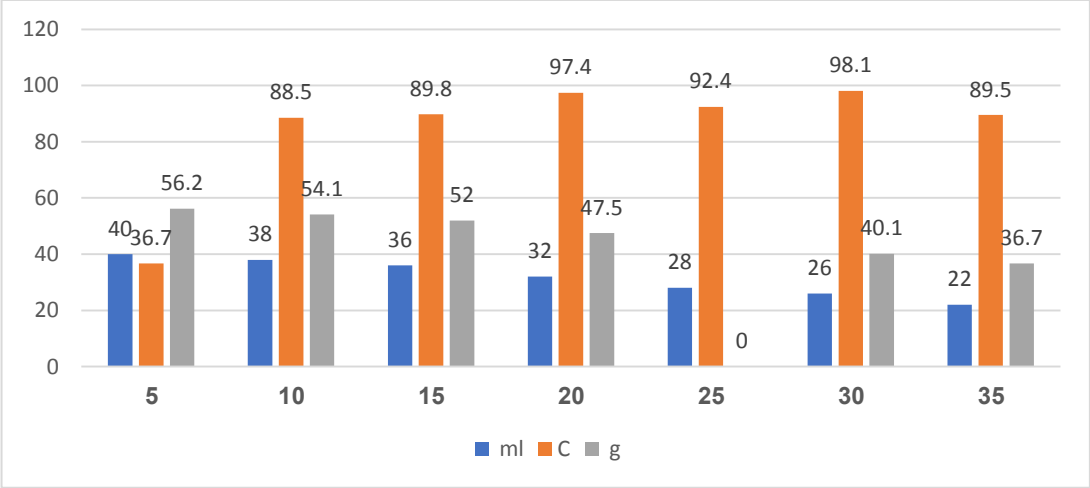
شكل (4–20): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 24 h من المجال مغناطيسي

يُظهر الشكل **(4–20)** نتائج مهمة للعينة رقم **(2)** بعد مرور h **24** من المغنطة بقـــوة **15,000**G) ، مع ظروف أولية مختلفة عن القياس السابق بكتلة(60.1g) ، حجم (40ml) ، ودرجة حرارة(C^0 **19.5**)، تشير البيانات إلى معدل تبخر أبطأ مقارنة بالقياسات بعـــد (12h) من المغنطة، حيث انخفض الحجم من(**40** ml إلى **27**) خلال(**35**min)، مقابل انخفاض إلى

20ml في القياس السابق كما يلاحظ ارتفاع تدريجي في درجة الحرارة منc^0(**97.7–71.2**) لكن بمعدل أقل حدة ودون الوصول إلى درجة الغليان الكاملة، انخفضت الكتلة مـــن (59.6g) إلى (4g) بمعدل متناسق، مما يشير إلى استقرار أكبر في عملية التبخر، هـــذه الاختلافـــات تُظهر أن فترة المغنطة (h 24 مقابل **12** h) تؤثر بشكل ملحوظ في سلوك المـــاء الحـــراري والفيزيائي، مما قد يُعزى إلى تغيرات في التوتر السطحي والترابط بين جزيئات الماء نتيجـــة للتعرض الطويل للمجال المغناطيسي، هذه النتائج تؤكد فرضية وجود تأثير زمني للمعالجـــة المغناطيسية في خصائص مياه الآبار، وتفتح آفاقاً لتطبيقات محتملة في تقنيات معالجة الميـــاه وتحسين كفاءة عمليات التبخر المستخدمة في التحلية وغيرها من التطبيقات المائية.

جدول (4–20) بيانات العينة رقم (2) بعد مرور 48 h من المغنطة (m=56.2g, T=20C^0, v=40ml)

g	C^0	ml	Min
56.2	36.7	40	5
54.1	88.5	38	10
52	89.8	36	15
47.5	97.4	32	20
43,8	92.4	28	25
40.1	98.1	26	30
36.7	89.5	22	35



شكل (4–21): يوضح خصائص العينة 2 بعد مرور 48 h من المجال مغناطيسي

يُقدم الشكل (4–21) بيانات قيمة للعينة رقم (2) بعد مرور h 48 من المغنطة بقوة 15,000G مع معطيات أولية كتلة(g 56.2) ، درجة حرارة (c^0 20) ، وحجم (40ml)، تظهر النتائج نمطاً مميزاً في سلوك المياه المعالجة مغناطيسياً لفترة زمنية أطول، حيث سُجل انخفاض ملحوظ في الحجم من ml(40 إلى 22) خلال فترة التجربة، وهو معدل تبخر أعلى من القياس بعد h 24 (27ml) وأقل من القياس بعد h (20ml)، الملفت للنظر هو الانخفاض الحاد في درجة الحرارة الأولية ($36.7c^0$) مقارنة بالقياسات السابقة، ثم ارتفاعها المفاجئ إلى (c^0 88.5) درجة مئوية في الدقيقة العاشرة، كما يلاحظ تذبذب واضح في درجات الحرارة خلال فترة التجربة، حيث وصلت إلى ذروتها عند($C^0$98.1) في الدقيقة الثلاثين ثم انخفضت مجدداً، انخفضت الكتلة بشكل متناسق مع g (56.2 إلى 36.7)، وهو ما يتوافق تماماً مع معدل فقدان الحجم، تشير هذه النتائج إلى أن طول فترة التعرض للمجال المغناطيسي يؤثر بشكل معقد على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء، مما ينعكس على سلوكه الحراري وسرعة تبخره، هذه المعلومات تعزز فهمنا للعلاقة بين المعالجة المغناطيسية والخصائص الديناميكية الحرارية للمياه، وتفتح آفاقاً واعدة لتطبيقات مبتكرة في مجالات تنقية المياه وتحلية مياه الآبار في المناطق الصحراوية.

وأظهرت نتائج تحليل العينة (2) قبل وبعد المغنطة:

1- قبل المغنطة: كان معدل التبخر للعينة حوالي(0.54ml/min) وكان هذا بمثابة خط الأساس للسلوك الطبيعي للماء.

2- بعد المغنطة بفترات زمنية قصيرة min (30 و60)، لوحظ تسارع ملحوظ في معدل التبخر مقارنة بالحالة قبل المغنطة، وسجل معدل التبخر(0.63ml/min) وهو معدل أعلى بنسبة 16.7% من المعدل الأصلي، مما يشير إلى تأثير محفز للمجال المغناطيسي على عملية التبخر في هذه الفترة القصيرة.

3- بعد المغنطة بفترة زمنية متوسطة (90min و3h) بدأ معدل التبخر في الانخفاض، حيث وصل إلى(0.51ml/min) بعد 90min (أقل من ذروة التسارع وأقرب لخط الأساس)، وانخفض بشكل أكبر إلى (0.37 ml/min) بعد (3h)، وهو أدنى معدل تبخر تم تسجيله لهذه العينة، مما يشير إلى تأثير مثبط قوي في هذه الفترة الزمنية.

4- بعد المغنطة بفترات زمنية أطول (6h و**9**h و12h)، عاد معدل التبخر للارتفاع مرة أخرى، فقد وصل إلى (0.56ml/min) بعد (6h) أعلى من (h **3**)وأقرب لخط الأساس، واستقر عند حوالي (0.57ml/min) بعد h(9 و**12**) ، وهو معدل قريب جداً من المعدل الأصلي وقريب من أعلى معدل تسارع لوحظ في الفترات القصيرة .

5- بعد المغنطة بفترة زمنية طويلة h(**24** و**48**)، عاد معدل التبخر للانخفاض مجدداً، حيث سجل (0.37ml/min) بعد(24h) ، عائداً إلى مستوى التثبيط الذي لوحظ بعد(h **3**) ارتفع قليلاً إلى (0.51ml/min) بعد (h**48**)، عائداً لمستوى قريب من المعدل الأصلي والـ (90min).

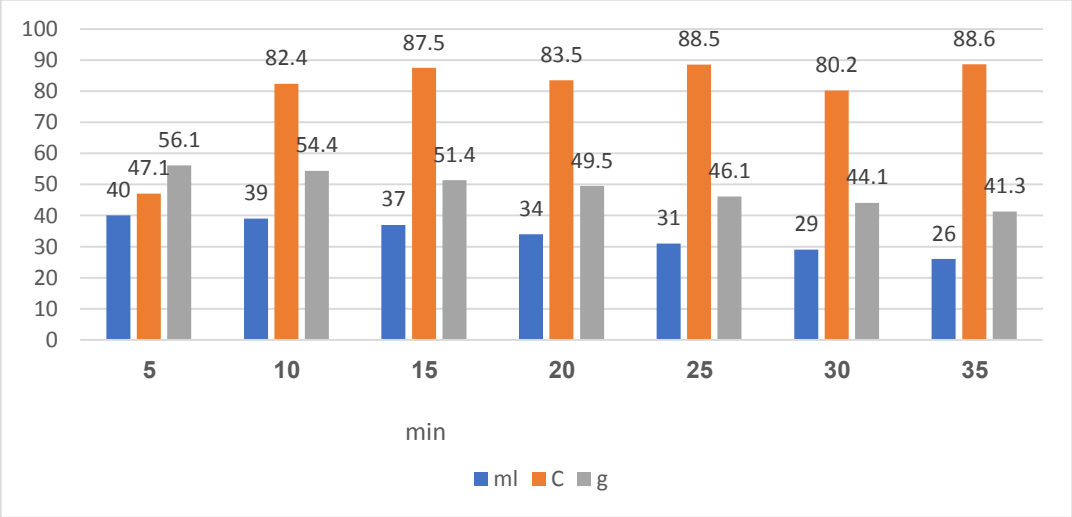
مما سبق، نستنتج أن للمجال المغناطيسي تأثيرا واضحا على معدل تبخر ماء العينة رقم **2** "منطقة جود دائم"، عمق البئر (**90**m)، وهذا التأثير ليس ثابتاً بل يتغير بشكل متذبذب أو دوري مع مرور الوقت بعد إزالة المجال، ويبدأ التأثير محفزاً للتبخر في الفترات القصيرة min(**30**-**60**)، ثم يتحول إلى مثبط في فترات متوسطة (h **3** ، h **24**) ويعود ليكون قريباً من الحالة الأصلية أو محفزاً قليلاً في فترات أخرى (90 min)،h(**6**، **9**، **12**، **48**)، وتُظهر النتائج وجود نوافذ زمنية مختلفة للتأثير، حيث تكون المعالجة محفزة في بداية الأمر، ثم تتحول لمثبطة، ثم تعود للتحفيز أو الاستقرار، ثم تعود للتثبيط، وهكذا، وهذا السلوك المعقد والمتغير زمنياً يختلف عن النمط الملاحظ في العينة رقم **1** في بعض النقاط (مثل التأثير الأولي المحفز بدلاً من المثبط)، مما يشير إلى أن طبيعة تأثير المعالجة قد تعتمد أيضاً على خصائص الماء الأصلية، هذه النتائج تفتح آفاقاً لفهم أعمق لكيفية تفاعل الماء مع المجالات المغناطيسية على المدى الطويل، وتبرز أهمية دراسة الديناميكيات الزمنية لاختيار أفضل فترة زمنية لتطبيق المعالجة لتحقيق هدف معين (مثل تقليل التبخر).

3.1.4. العينة رقم (3): من "منطقة البرناوي"، عمق البئر (120 متر)

جدول (4–21) بيانات العينة رقم (3) قبل المغنطة (v=40ml, T=28.8c^0, m=56.2g)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	47.1	56.1
10	39	82.4	54.4
15	37	87.5	51.4
20	34	83.5	49.5
25	31	88.5	46.1
30	29	80.2	44.1
35	26	88.6	41.3

1.3.1.4. العينة رقم (3) قبل المغنطة:



شكل (4–22): يوضح خصائص العينة 3 قبل المغنطة

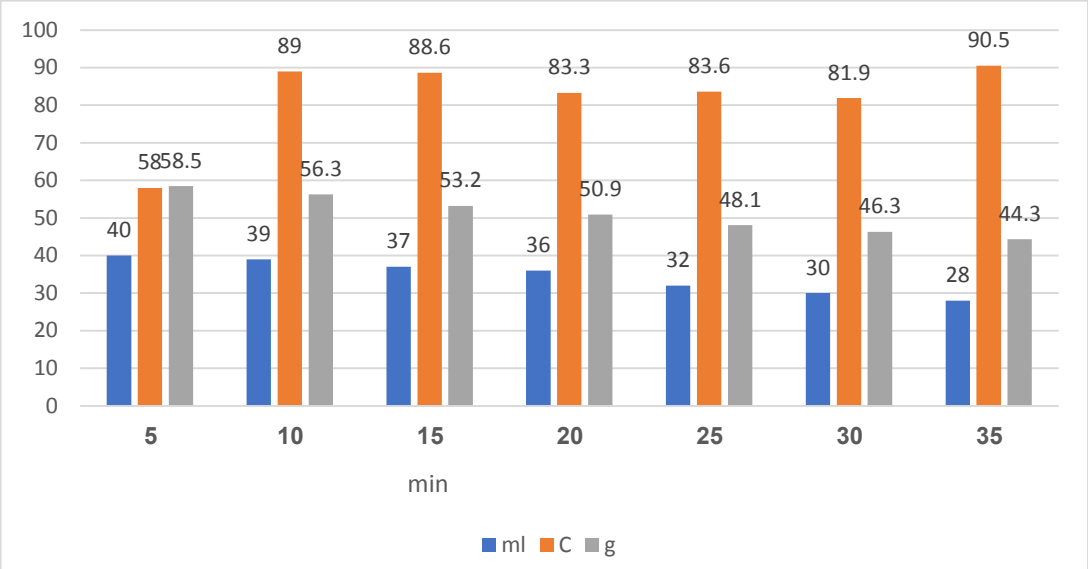
يُظهر الشكل **(4–22)** العينة رقم **(3)** نمطاً طبيعياً لسلوك مياه الآبار في مدينة الزاوية، مع انخفاض تدريجي في الحجم من ml(**40** إلى **26**) خلال (35min)، الملفت للنظر هو التذبذب في درجات الحرارة حيث ارتفعت من ($47.1C^0$) في الدقيقة الخامسة إلى (**$82.4C^0$**) درجة مئوية في الدقيقة العاشرة، ثم استمرت في التقلب بينC^0(**80.2** و**88.6**) خلال الفترة المتبقية من التجربة، دون أن تصل إلى درجة الغليان الكاملة، وباعتبار أن هذه العينة تمثل حالة مرجعية قبل المغنطة، فإنها ستكون نقطة مقارنة أساسية لفهم التغيرات التي

تطرأ على نفس العينة بعد تعريضها للمجال المغناطيسي لفترات زمنية مختلفة، وهذا سيساعد في تحديد تأثير المعالجة المغناطيسية على خصائص التبخر ودرجة الحرارة والكتلة بشكل أكثر دقة، مما سيثري نتائج الدراسة حول تأثير المجال المغناطيسي على معدل تبخر مياه الآبار في منطقة الدراسة.

2.3.1.4. العينة رقم (3) بعد المغنطة

جدول (4-22) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 30 min من المجال المغناطيسي (m=55.7g, v= 40ml, T=29.4C^0)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	58	58.5
10	39	89	56.3
15	37	88.6	53.2
20	36	83.3	50.9
25	32	83.6	48.1
30	30	81.9	46.3
35	28	90.5	44.3



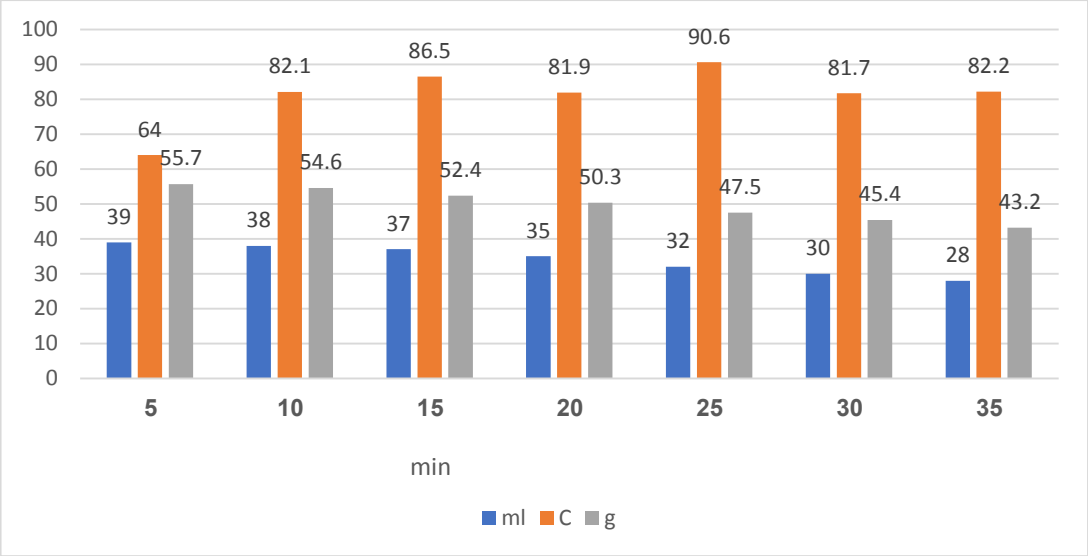
شكل (4-23): يوضح خصائص العينة 3 (m=55.5g, v=40ml, T=23.9c^0) بعد مرور 30 دقيقة من المجال المغناطيسي.

يقدم الشكل **(4–23)** بيانات العينة رقم **(3)** بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لمدة **30** min بقوة **(15,000**G**)**، مع ظروف أولية (كتلة 55.5g، حجم 40ml، درجة حرارة $23.9C^0$). تظهر النتائج تغيراً ملحوظاً في سلوك المياه مقارنة بحالتها قبل المغنطة، حيث انخفض الحجم من ml**(40** إلى **28)** خلال فترة التجربة، بفقدان(12ml) فقط مقارنة بفقدان(14ml) في الحالة غير الممغنطة. هذا يشير إلى أن التعرض القصير نسبياً للمجال المغناطيسي (**30**min) قد أدى إلى تقليل معدل التبخر بشكل طفيف، كما يلاحظ ارتفاع درجة الحرارة الأولية في الدقيقة الخامسة ($58c^0$) مقارنة بالعينة غير الممغنطة ($47.1c^0$)، مما يشير إلى تأثير المجال المغناطيسي على قدرة الماء على امتصاص الحرارة، تتذبذب درجات الحرارة بشكل أقل حدة، حيث تتراوح بينC^0**(81.9** و**90.5)** خلال التجربة، أما بالنسبة للكتلة فقد انخفضت من(58.5g) ((وهي أعلى من الكتلة الأولية المذكورة g**55.5**)) إلى (44.3g) ، بفقدان (14.2g) ، هذه النتائج تشير إلى أن التعرض القصير للمجال المغناطيسي يغير من سلوك مياه الآبار بشكل ملحوظ، حيث يبدو أن المعالجة المغناطيسية لمدة(**30**min) تؤدي إلى استقرار أكبر في درجات الحرارة وتقليل طفيف في معدل التبخر، مما قد يكون له تطبيقات مهمة في تحسين كفاءة استخدام المياه في المناطق التي تعاني من ندرة المياه.

جدول (4–23) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 60 min من المغنطة

(V=40ml, m=56.7g, T=29.6C^0)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	39	64	55.7
10	38	82.1	54.6
15	37	86.5	52.4
20	35	81.9	50.3
25	32	90.6	47.5
30	30	81.7	45.4
35	28	82.2	43.2

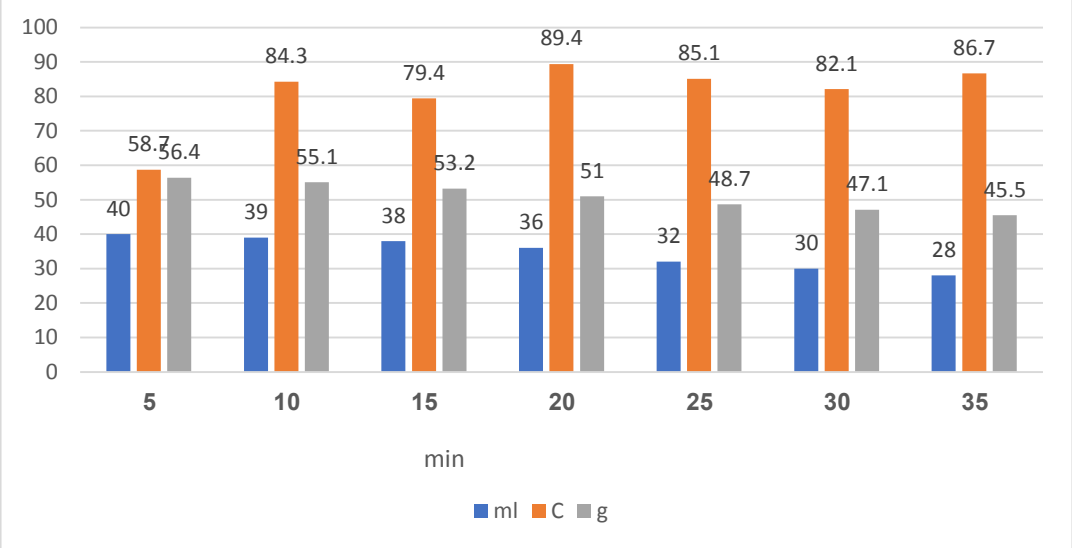


شكل (4–24): يوضح خصائص العينة 3 ($m=55.5g, v=40ml, T=23.9C^0$) بعد مرور 60 min من المجال المغناطيسي.

يوضح الشكل **(4–24)** معلومات مهمة عن العينة رقم **(3)** بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لمدة **60** min بقوة (15,000G)، مع ظروف أولية حجم (40ml)، كتلة (56.7g)، درجة حرارة ($29.6C^0$) وتظهر النتائج أن العينة فقدت (1ml) من حجمها قبل بدء القياسات، حيث بدأت عند (39ml) في الدقيقة الخامسة، مما يشير إلى تأثير محتمل للمعالجة المغناطيسية الأطول على استقرار المياه، فخلال فترة التجربة انخفض حجم الماء إلى(28ml) ، بفقدان إجمالي قدره (12ml) ، وهو مطابق تماماً لمعدل التبخر بعد(30min) من المغنطة، مما يؤكد وجود استقرار في سلوك المياه المعالجة مغناطيسياً مع زيادة فترة التعرض، كما أن درجات الحرارة أظهرت نمطاً أكثر استقراراً نسبياً مقارنة بالحالات السابقة، مع ارتفاع من ($64C^0$) في الدقيقة الخامسة إلى ذروة ($90.6C^0$) في (25min)، ثم انخفاض واستقرار حول($82C^0$) ، أما الكتلة فقد انخفضت من g **(55.7** إلى **43.2)** ، بفقدان (12.5g)، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد(30min) من المغنطة **(14.2g)**، مما يشير إلى أن التعرض للمجال المغناطيسي لفترة (60min) قد أدى إلى تحسين كفاءة الاحتفاظ بالماء وتقليل معدل فقدان الكتلة، وبمقارنة هذه النتائج مع الحالات السابقة، يتضح أن فترة التعرض للمجال المغناطيسي (**30**min مقابل **60** min) تؤثر بشكل طفيف على سلوك المياه، مع تحسن ملحوظ في استقرار درجات الحرارة وكفاءة الاحتفاظ بالكتلة مع زيادة فترة التعرض، هذه النتائج تعزز فهمنا للآليات الفيزيائية للتأثير المغناطيسي على مياه الآبار، وتوفر أساساً علمياً لتطوير تقنيات فعالة لمعالجة المياه في المناطق الجافة.

جدول(4-24) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 90 min من المغنطة ($T=29.2C^0$, m=57g, v=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	58.7	56.4
10	39	84.3	55.1
15	38	79.4	53.2
20	36	89.4	51
25	32	85.1	48.7
30	30	82.1	47.1
35	28	86.7	45.5



شكل (4-25): يوضح خصائص العينة 3 (m=55.5g, v=40ml, T=23.9c) بعد مرور 90 min من المجال المغناطيسي.

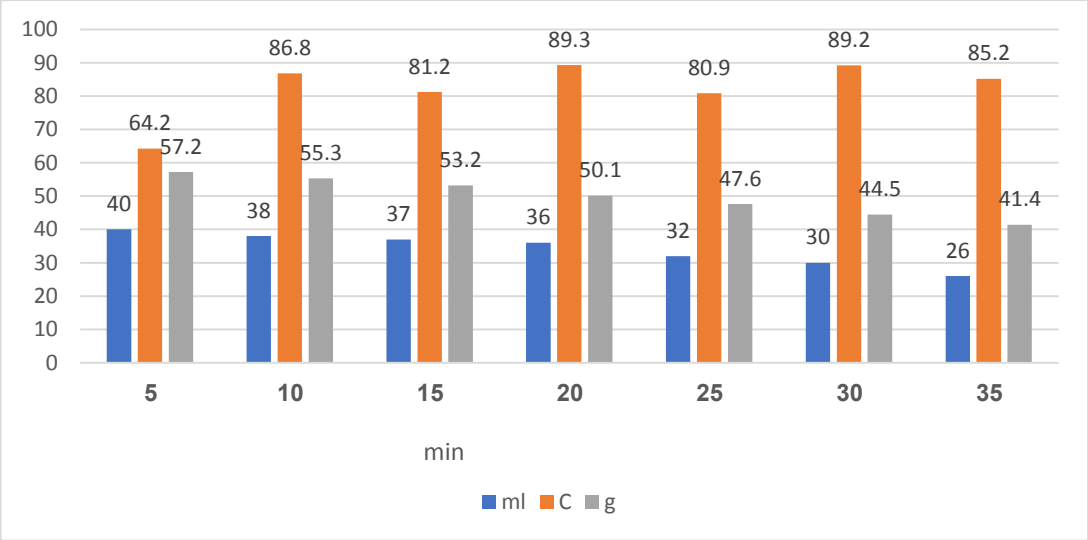
يقدم الشكل (4-25) العينة رقم (3) بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لمدة أطول بلغت 90 min بقوة (15,000G)، مع ظروف أولية (درجة حرارة $29.2c^0$، كتلة 57g، حجم 40ml).

تظهر النتائج نمطاً متميزاً في سلوك المياه المعالجة مغناطيسياً لهذه الفترة الزمنية، فخلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء من 40ml إلى 28 ml ، بفقدان إجمالي قدره(12ml)، وهو مطابق تماماً لمعدلات التبخر المسجلة بعد 30 و60 min من المغنطة، هذا التماثل في معدلات التبخر يشير إلى وجود نمط مستقر في سلوك المياه المعالجة مغناطيسياً عند هذا

المستوى من التعرض القصير نسبياً للمجال المغناطيسي أقل من (2h)، وأظهرت درجات الحرارة تذبذباً معتدلاً، حيث بدأت عند ($58.7c^0$) في الدقيقة الخامسة، وبلغت ذروتها عند ($89.4C^0$) في (20min)، ثم تراوحت بين c^0**(82.1** و**86.7)** في النصف الثاني من التجربة، هذا النمط يختلف قليلاً عن القياسات السابقة، مما يشير إلى تأثير محتمل لزيادة فترة التعرض للمجال المغناطيسي على السلوك الحراري للمياه، أما الكتلة فقد انخفضت من g **(56.4**إلى**45.5**) ، بفقدان (10.9g) ، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد (30min) **14.2**g و (60min) **12.5**g من المغنطة، وهذا يؤكد الاتجاه الملحوظ سابقاً بأن زيادة فترة التعرض للمجال المغناطيسي تحسن من كفاءة الاحتفاظ بالماء وتقلل من معدل فقدان الكتلة، وبمقارنة سلسلة القياسات للعينة رقم **(3)** عند فترات مغنطة مختلفة min**(0، 30، 60، 90)**، يتضح وجود علاقة طردية بين طول فترة التعرض للمجال المغناطيسي وكفاءة الاحتفاظ بالكتلة، مع استقرار نسبي في معدل فقدان الحجم، هذه النتائج تعزز الفهم النظري لتأثير المجالات المغناطيسية على الخصائص الفيزيائية لمياه الآبار، وتفتح آفاقاً واعدة لتطبيقات عملية في مجال معالجة المياه وتحسين كفاءة استخدامها.

جدول(4-25) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور h 3 من المغنطة (v=40ml, T=28c^0, m=57.6g)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	64.2	57.2
10	38	86.8	55.3
15	37	81.2	53.2
20	36	89.3	50.1
25	32	80.9	47.6
30	30	89.2	44.5
35	26	85.2	41.4



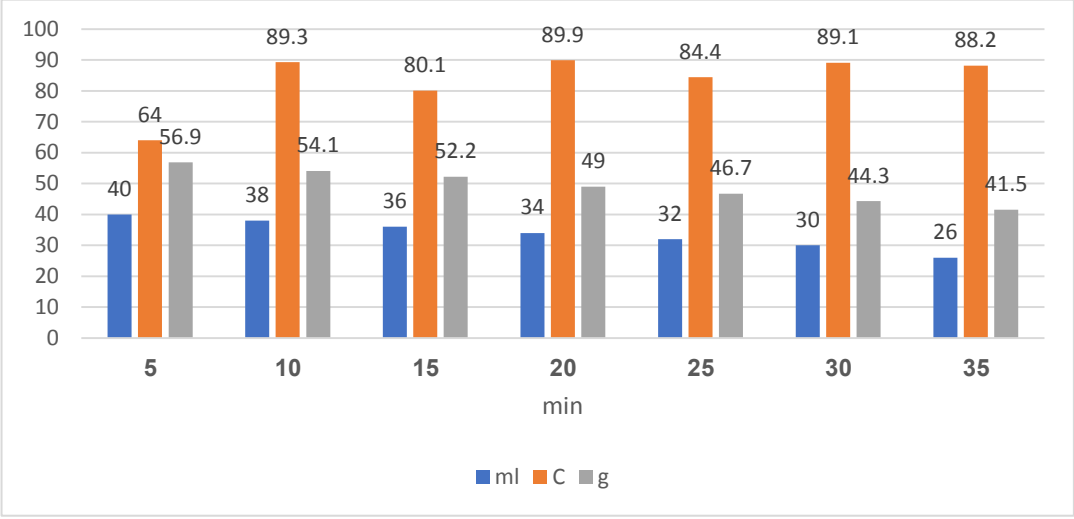
شكل (4−26): يوضح خصائص العينة 3 ($m=57.6g, v=40ml, T= 28c^0$) بعد مرور 3 h من المغنطة

يعرض الشكل **(26)** بيانات للعينة رقم **(3)** بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لفترة أطول بكثير بلغت 3h بقوة (15,000G)، مع ظروف أولية (حجم ml **40**، درجة حرارة $28C^0$ ، كتلة g **57.6**)، تُظهر النتائج تحولاً ملحوظاً في سلوك المياه مع هذه الفترة الزمنية المتوسطة من المغنطة مقارنة بالفترات الأقصر، فخلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء من ml**(40** إلى **26)** بفقدان إجمالي قدره (14ml) ، وهو أعلى من معدلات التبخر المسجلة في الفترات الأقصر min**(30، 60، 90)** التي فقدت (12ml) فقط، لكنه يتساوى مع معدل التبخر للعينة قبل المغنطة. هذا يشير إلى تغير في سلوك المياه مع زيادة فترة التعرض للمجال المغناطيسي، حيث يبدو أن التأثير المخفض لمعدل التبخر الذي لوحظ في فترات المغنطة القصيرة يبدأ بالتلاشي مع زيادة مدة التعرض، وأظهرت درجات الحرارة تذبذباً أكثر وضوحاً، مع ارتفاع من ($64.2c^0$) في الدقيقة الخامسة إلى قمم متعددة بلغت ($89.3C^0$) في الدقيقة العشرين و($89.2C^0$) في الدقيقة الثلاثين، هذا النمط المتذبذب يختلف عن الاستقرار النسبي الملاحظ في فترات المغنطة الأقصر، أما الكتلة فقد انخفضت من g(**57.2** إلى **41.4)** بفقدان (15.8g) ، وهو أعلى بكثير من الفقدان المسجل بعد (30min) **14.2**g ، **(60**min) **12.5**g ، و(90min) **10.9**g من المغنطة، هذا الانعكاس في الاتجاه السابق يشير إلى أن العلاقة بين فترة التعرض للمجال المغناطيسي وكفاءة الاحتفاظ بالماء ليست خطية، بل تتبع منحنى حيث تتحسن الكفاءة في البداية حتى (90min) ثم تنخفض مع زيادة فترة التعرض إلى

(3h) ، هذه النتائج تقدم رؤية عميقة حول العلاقة المعقـدة بـين فتـرة التعـرض للمجـال المغناطيسي والخصائص الفيزيائية لمياه الآبار، مما يشير إلى وجود "نافـذة زمنيـة مثاليـة" للمعالجة المغناطيسية لتحقيق أفضل النتائج في تحسين كفاءة استخدام المياه. هذه المعلومـات يمكن أن تكون حاسمة في تطوير نظام عمل فعال لمعالجة المياه في المناطق التي تعاني من ندرة المياه مثل مدينة الزاوية.

جدول (4–26) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 6 h من المغنطة ($m=57.6g, v=40ml, T=28.1c^0$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	64	56.9
10	38	89.3	54.1
15	36	80.1	52.2
20	34	89.9	49
25	32	84.4	46.7
30	30	89.1	44.3
35	26	88.2	41.5

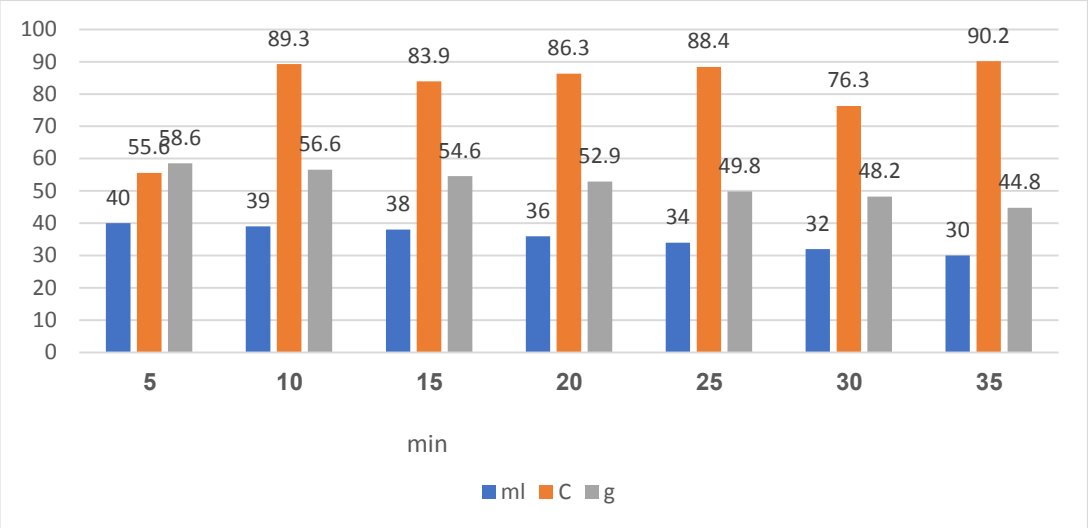


شكل (4–27): يوضح خصائص العينة (3) بعد مرور 6 h من المغنطة ($m=57.6g, v=40ml, T=28.1c^0$)

تقدم بيانات الشكل (**4**–**27**) معلومات قيمة للعينة رقم (**3**) بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لفترة أطول بلغت **6** h بقوة (15,000G) ، مع ظروف أولية (كتلة **57.6**g ، حجم 40ml، درجة حرارة $28.1c^0$)، تظهر النتائج نمطاً مثيراً للاهتمام يعزز الفهم المتطور لتأثير المعالجة المغناطيسية طويلة المدى على خصائص مياه الآبار، خلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء من ml(**40** إلى **26**) ، بفقدان إجمالي قدره (14ml)، وهو مطابق تماماً لمعدل التبخر المسجل بعد(3h) من المغنطة وللعينة قبل المغنطة، هذا التماثل يشير إلى استقرار معدل التبخر عند فترات المغنطة المتوسطة إلى الطويلة، وعودة معدل التبخر إلى مستويات ما قبل المغنطة بعد تجاوز "النافذة الزمنية المثالية" للتعرض القصير min(**30**–**90**)، حيث أظهرت درجات الحرارة تذبذباً واضحاً، مع ارتفاع من($64c^0$) في الدقيقة الخامسة إلى قمم متعددة بلغت: C^0(**89.3**، **89.9**، **89.1**) عند min **10**، **20**، و**30** على التوالي، هذا النمط المتذبذب المتكرر يشبه إلى حد كبير النمط الملاحظ بعد (3h) من المغنطة، مما يؤكد استقرار السلوك الحراري للمياه مع التعرض الطويل للمجال المغناطيسي، والكتلة انخفضت من(**56.9**g) إلى (41.5g) ، بفقدان (15.4g)، وهو قريب جداً من الفقدان المسجل بعد (3h) من المغنطة (**15.8**g)، مما يعزز ملاحظة الاستقرار في سلوك المياه بعد فترة معينة من التعرض للمجال المغناطيسي، وبالنظر إلى سلسلة القياسات السابقة للعينة رقم (**3**) عبر فترات مغنطة متدرجة min(**0**، **30**، **60**، **90**) وh(**3**، **6**)، يمكن استنتاج نمط يشبه المنحنى الجرسي في كفاءة الاحتفاظ بالماء، حيث تتحسن الكفاءة في فترات المغنطة القصيرة، تصل إلى أفضل مستوياتها عند (90min) (حيث كان فقدان الكتلة الأقل)، ثم تنخفض وتستقر عند فترات المغنطة الأطول، هذه النتائج تقدم رؤية متكاملة عن العلاقة الديناميكية بين فترة التعرض للمجال المغناطيسي والخصائص الفيزيائية لمياه الآبار، وتوفر أساساً علمياً لتحديد البروتوكولات المثلى للمعالجة المغناطيسية في تطبيقات تحسين كفاءة استخدام المياه.

جدول(4−27) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 9 h من المغنطة (m=58.9g, T=27.9c^0, V=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	55.6	58.6
10	39	89.3	56.6
15	38	83.9	54.6
20	36	86.3	52.9
25	34	88.4	49.8
30	32	76.3	48.2
35	30	90.2	44.8



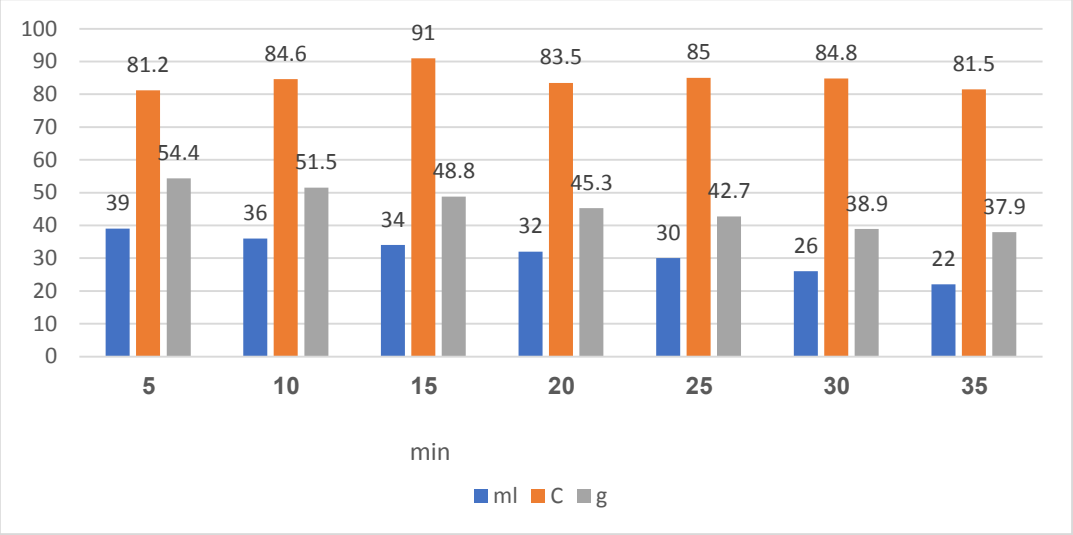
شكل (4−28): يوضح خصائص العينة رقم (3) بعد 9 h من المغنطة (m=58.9g, T=27.9c^0, V=40ml)

تُظهر بيانات الشكل (4−28) نتائج مهمة للعينة رقم (3) بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لفترة طويلة بلغت 9 h بقوة (15,000G)، مع ظروف أولية (كتلة 58.9 g ، درجة حرارة 27.9c^0، حجم 40ml)، تكشف هذه البيانات عن تحول جديد في سلوك المياه مع هذه الفترة الزمنية الطويلة من المغنطة، فخلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء من 40)ml إلى 30) ، بفقدان إجمالي قدره(10ml) فقط، وهو أقل بشكل ملحوظ من معدلات التبخر المسجلة في الفترات السابقة (14ml) للعينة قبل المغنطة وبعد 3)h و 6) من المغنطة، و(12ml) بعد 30)min−90)من المغنطة، هذا الانخفاض المفاجئ في معدل التبخر يشير إلى تغير آخر في سلوك المياه مع التعرض الطويل للمجال المغناطيسي، مما يفتح آفاقاً جديدة لتطبيقات المعالجة المغناطيسية في تقليل فقدان المياه، وأظهرت درجات الحرارة نمطاً مختلفاً نسبياً، مع بداية أقل (55.6C^0) في الدقيقة الخامسة، وارتفاع سريع إلى (89.3C^0) في الدقيقة العاشرة، ثم استقرار نسبي حول الثمانينات مع انخفاض ملحوظ إلى (76.3C^0) في الدقيقة

الثلاثين، تبعه ارتفاع إلى($90.2C^0$) في نهاية التجربة، هذا النمط المتذبذب المختلف يشير إلى تغيرات في السلوك الحراري للمياه مع التعرض الطويل للمجال المغناطيسي، أما الكتلة فقد انخفضت من (58.6g) إلى (44.8g) ، بفقدان (13.8g)، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد (3h) **15.8**g و(6h) **15.4**g من المغنطة، مما يؤكد التحسن في كفاءة الاحتفاظ بالماء مع زيادة فترة التعرض للمجال المغناطيسي إلى (9h) ، هذه النتائج تعزز فهمنا للعلاقة المعقدة بين فترة التعرض للمجال المغناطيسي وخصائص مياه الآبار، وتشير إلى وجود نمط غير خطي، حيث تتحسن كفاءة الاحتفاظ بالماء في فترات المغنطة القصيرة min **(90–30)** ، ثم تنخفض في الفترات المتوسطة h**(6–3)**، ثم تتحسن مرة أخرى في الفترات الطويلة(9h)، هذه المعلومات تقدم إطاراً علمياً متطوراً لتحسين تقنيات معالجة المياه المغناطيسية وتطبيقاتها في المناطق الجافة مثل منطقة الدراسة.

جدول (4–28)بيانات العينة رقم (3) بعد 12 h من المغنطة (m=56.0g, T=28.2c^0, v=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	39	81.2	54.4
10	36	84.6	51.5
15	34	91	48.8
20	32	83.5	45.3
25	30	85	42.7
30	26	84.8	38.9
35	22	81.5	37.9

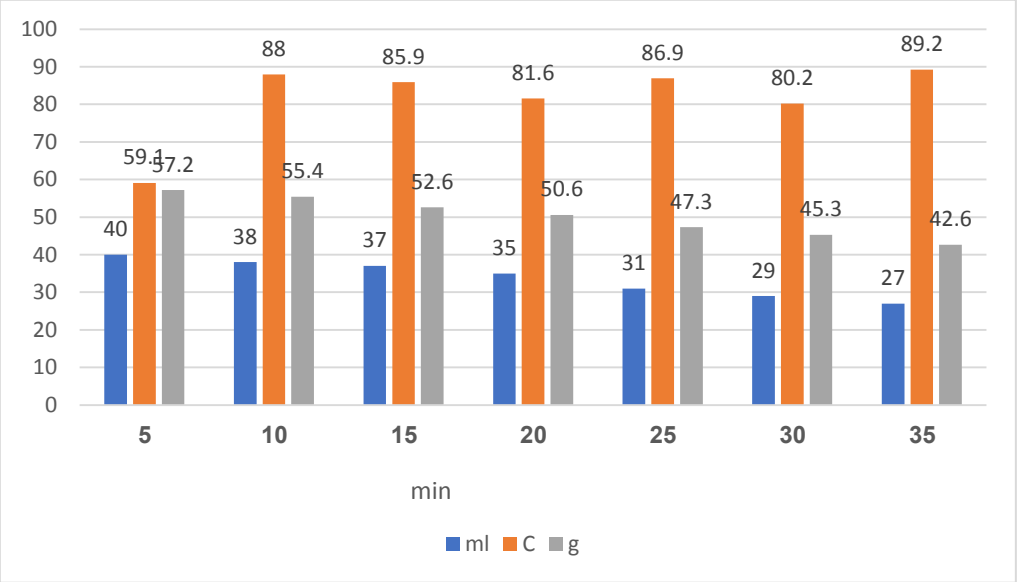


شكل (4–29): يوضح خصائص العينة رقم (3) بعد 12 h من المغنطة (m=56.0g, T=28.2c^0, v=40ml)

تقدم بيانات الشكل (**4**–**29**) معلومات بالغة الأهمية للعينة رقم (**3**) بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لفترة طويلة بلغتh **12** بقوة(15,000G) ، مع ظروف أولية (كتلة **56.0**g ، درجة حرارة^{0}28.2c ، حجم 40ml)، تظهر النتائج تحولاً دراماتيكياً في سلوك المياه مع هذه الفترة الزمنية الممتدة من المغنطة، الملاحظة الأولى المهمة هي أن العينة فقدت (1ml)من حجمها قبل بدء القياسات، حيث بدأت عند (39ml) في الدقيقة الخامسة، خلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء بشكل حاد إلى (22ml)، بفقدان إجمالي قدره(18ml) (بما في ذلك الفقدان الأولي)، وهو أعلى بكثير من معدلات التبخر المسجلة في جميع القياسات السابقة، بما في ذلك العينة قبل المغنطة (14ml) ، هذا الارتفاع الكبير في معدل التبخر يشير إلى تغير جذري في سلوك المياه مع التعرض الطويل جداً للمجال المغناطيسي، درجات الحرارة أظهرت نمطاً مختلفاً، حيث بدأت بدرجة حرارة عالية نسبياً ($81.2C^{0}$) في الدقيقة الخامسة، ووصلت إلى ذروتها عند ($91C^{0}$) في الدقيقة الخامسة عشر، ثم استقرت حول الثمانينات حتى نهاية التجربة. هذه البداية المرتفعة لدرجة الحرارة تختلف عن الأنماط السابقة وتشير إلى تغير في السلوك الحراري للمياه، كما الكتلة انخفضت بشكل حاد من(**54.4**g) أقل من الكتلة الأولية من (56g) إلى(37.9g) بفقدان (16.5g) ، وهو أعلى من الفقدان المسجل بعد **9**h **(13.8**g) وقريب من الفقدان المسجل بعد **3**h **(15.8**g) و**6**h **(15.4**g) من المغنطة، هذه النتائج تكمل الصورة العلمية للعلاقة المعقدة بين فترة التعرض للمجال المغناطيسي وخصائص مياه الآبار، وتؤكد النمط غير الخطي الذي لوحظ سابقاً، بشكل محدد، يمكن استنتاج أن معدل التبخر يتأثر بفترة المغنطة وفق نمط متذبذب: ينخفض في الفترات القصيرة جداً min(**30**–**90**)، ثم يعود إلى المستويات الطبيعية في الفترات المتوسطة h(**3**–**6**)، ثم ينخفض مرة أخرى عند **9**h ، ثم يرتفع بشكل كبير عند 12h، وهذا يقدم إطاراً شاملاً لفهم تأثير المعالجة المغناطيسية على مياه الآبار في منطقة الدراسة، ويسلط الضوء على أهمية اختيار الفترة الزمنية المثلى للمعالجة اعتماداً على الهدف المنشود: تقليل معدل التبخر (باستخدام فترة مغنطة قصيرة أو **9**h) أو زيادة معدل التبخر (باستخدام فترة مغنطة **12**h).

جدول (4–29) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 24 h من المغنطة (m=57.6g, T=28.0c^0, V=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	59.1	57.2
10	38	88	55.4
15	37	85.9	52.6
20	35	81.6	50.6
25	31	86.9	47.3
30	29	80.2	45.3
35	27	89.2	42.6



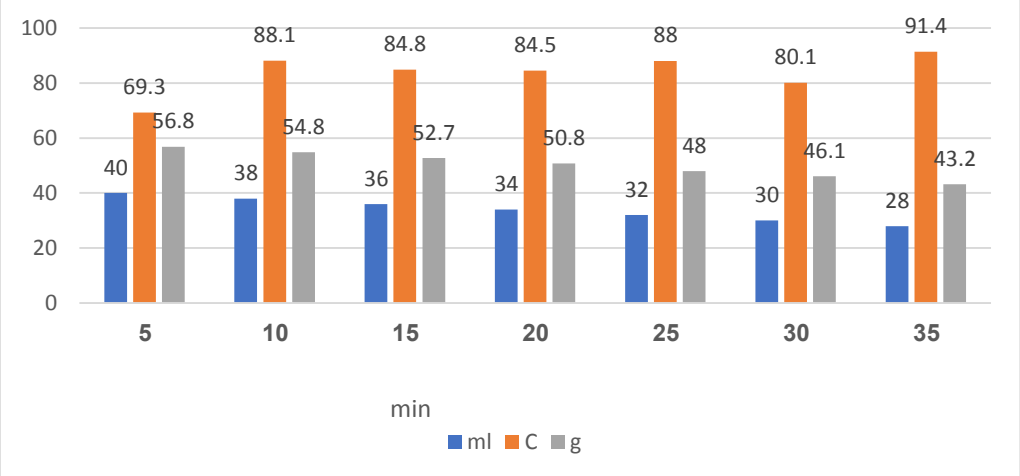
شكل (4–30): يوضح خصائص العينة رقم (3) بعد مرور 24 h من المغنطة (m=57.6g, T=28.0C^0, V=40ml)

يُقدم الشكل (4–30) معلومات عن العينة رقم (3) بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لفترة طويلة بلغت 24 h بقوة (15,000G) ، مع ظروف أولية (كتلة 57.6g ، درجة حرارة 28.0c^0 ، حجم 40ml)، تظهر النتائج تحولاً لافتاً في سلوك المياه عند هذه النقطة الزمنية المتقدمة من المعالجة المغناطيسية، خلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء من(40ml) إلى (27ml) ، بفقدان إجمالي قدره (13ml) ، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد 12h (18ml) وأقل قليلاً من الفقدان قبل المغنطة وبعد 3h(6–3) من المغنطة (14ml)، لكنه أعلى من الفقدان المسجل بعد 9h (10ml)، هذا يشير إلى عودة جزئية لمعدل التبخر نحو المستويات المعتدلة بعد الارتفاع الحاد المسجل عند12h من المغنطة، وأظهرت درجات الحرارة نمطاً مستقراً نسبياً، حيث بدأت عند (59.1C^0) في الدقيقة الخامسة، وارتفعت إلى(88C^0) في الدقيقة

العاشرة، ثم تذبذبت بين ($80.2C^0$) و($89.2C^0$) طوال التجربة. هذا النمط يشبه إلى حد كبير النمط الملاحظ في العينة قبل المغنطة، مما يشير إلى عودة السلوك الحراري للمياه إلى حالته الطبيعية بعد فترة طويلة جداً من المغنطةــ وانخفضت الكتلة من g(**57.2** إلى **42.6**)، بفقدان (14.6g) ، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد **12**h (16.5g) و**3**h (15.8g) و**6**h g(**15.4**) من المغنطة، لكنه أعلى من الفقدان المسجل بعد **9**h g(**13.8**) وأعلى قليلاً من متوسط الفقدان للفترات القصيرة بين min(**30–90**)، ويتواصل، مع عودة معدل التبخر وفقدان الكتلــة إلــى مستويات معتدلة بعد24h من المغنطة، بعد الارتفاع الحاد عند12h، هذه النتائج تقــدم فهمــاً شاملاً ومعمقاً لديناميكيات تأثير المعالجة المغناطيسية على مياه الآبار في منطقــة الدراســة، وتوفر قاعدة علمية صلبة لتطوير نظام عمل معالجة مائية مخصصة بنــاءً علــى الأهــداف المحددة لاستخدام المياه، سواء كان الهدف الحفاظ على المياه أو تعزيز كفــاءة التبخــر فــي تطبيقات التحلية.

جدول(4–30) بيانات العينة رقم (3) بعد مرور 48 h من المغنطة (m=57.6g, T=28.7c^0, V=4Oml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	69.3	56.8
10	38	88.1	54.8
15	36	84.8	52.7
20	34	84.5	50.8
25	32	88	48
30	30	80.1	46.1
35	28	91.4	43.2



شكل (4–31): يوضح خصائص العينة رقم (3) بعد مرور 48h من المغنطة (m=57.6g, T=28.7C^0, V=4Oml)

الشكل **(4–31)** يقدم معلومات قيمة حول العينة رقم **(3)** بعد تعرضها للمجال المغناطيسي لفترة طويلة جداً بلغت h **48** بقوة **(15,000G)**، مع ظروف أولية (كتلة 57.6g، درجة حرارة $28.7c^0$ ، **40**ml)، تظهر النتائج استقراراً نسبياً في سلوك المياه عند هذه النقطة الزمنية المتقدمة من المعالجة المغناطيسية، فخلال فترة التجربة، انخفض حجم الماء من(40ml) إلى(28ml)، بفقدان إجمالي قدره (12ml)، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد12h (18ml) و**24**h **(13**ml) والعينة قبل المغنطة (14ml)، ومساوٍ تماماً للفقدان المسجل بعد فترات المغنطة القصيرة min**(30–90)**، وأعلى من الفقدان بعد h **9 (10**ml)، هذا يشير إلى عودة معدل التبخر إلى مستويات مستقرة بعد التقلبات الملحوظة في الفترات السابقة، وأظهرت درجات الحرارة نمطاً متذبذباً معتدلاً، حيث بدأت عند$69.3C^0$ في الدقيقة الخامسة، وارتفعت إلى$88.1c^0$ في الدقيقة العاشرة، ثم تراوحت بين C^0(80.1 و91.4) خلال التجربة، هذا النمط يشبه إلى حد كبير الأنماط الملاحظة في العديد من القياسات السابقة، مما يشير إلى استقرار السلوك الحراري للمياه بعد فترات طويلة من المغنطة، وانخفضت الكتلة من g**(56.8** إلى **43.2)** ، بفقدان (13.6g) ، وهو أقل من الفقدان المسجل بعد h **12 (16.5**g) وh**24 (14.6**g) وh**(3–6)**g **(15.4–15.8)** من المغنطة، وقريب جداً من الفقدان المسجل بعد h **9 (13.8**g) هذا يؤكد استقرار كفاءة الاحتفاظ بالماء عند هذه النقطة الزمنية المتقدمة من المعالجة المغناطيسية.

باكتمال سلسلة القياسات الشاملة للعينة رقم **(3)** عبر النطاق الكامل من فترات المغنطة min**(0، 30، 60، 90)** h**(3، 6، 9، 12، 24، 48)**، يمكن استخلاص صورة كاملة للعلاقة المعقدة والمتذبذبة بين فترة التعرض للمجال المغناطيسي وخصائص مياه الآبار في منطقة البرناوي، ويمكن تلخيص هذه العلاقة في نمط متموج، حيث تتحسن كفاءة الاحتفاظ بالماء في فترات المغنطة القصيرة min**(30–90)**، ثم تنخفض فى الفترات المتوسطة h**(3–6)** ثم تتحسن مرة أخرى عند h **9** ، ثم تنخفض بشكل حاد عند **12**h، ثم تبدأ بالتحسن التدريجي مرة أخرى عند h**(24** و**48)**.

هذه النتائج تقدم أساساً علمياً متيناً لفهم وتطبيق المعالجة المغناطيسية لمياه الآبار، مع إمكانية اختيار الفترة الزمنية المثلى للمعالجة بناءً على الهدف المنشود من التطبيق، سواء كان تقليل معدل التبخر (باستخدام فترات المغنطة القصيرة أو h**9)** أو زيادة معدل التبخر (باستخدام فترة مغنطة h**12)** أو تحقيق توازن بين كفاءة الاحتفاظ بالماء واستقرار السلوك الحراري باستخدام فترات المغنطة الطويلة h **(24–48)**.

وأظهرت نتائج اختبار تأثير المجال المغناطيسي على معدل التبخر للعينة **(3)**:

1- قبل المغنطة، كان معدل التبخر للعينة حوالي(0.40ml/min)، وهذا يمثل السلوك الطبيعي للماء قبل أي معالجة.

2- بعد المغنطة بفترات زمنية قصيرة min **(30** و**60)**، لوحظ تقليل طفيف في معدل التبخر مقارنة بالحالة قبل المغنطة، حيث سجل معدل التبخر(0.34ml/min) بعد كل من**(30** و**60)**، وانخفض فقدان الكتلة بشكل ملحوظ بعد 60min(12.5g) مقارنة بـ min **30**(**14.2**g) وقبل المغنطة (17.9g)، مما يشير إلى تحسن في كفاءة الاحتفاظ بالماء مع زيادة مدة التعرض للمغنطة في هذه الفترة القصيرة.

3- بعد المغنطة بفترة زمنية متوسطة (90min)، ظل معدل التبخر عند حوالي (**0.34** ml/min)، وسجلت هذه الفترة أقل فقدان للكتلة (**10.9**g) مقارنة بجميع القياسات السابقة (0, 30, 60 min)، وهذا يشير إلى أن **90** min هي النافذة الزمنية المثلى لتحقيق أقصى تثبيط للتبخر في هذه المرحلة من المعالجة.

4- بعد المغنطة بفترات زمنية أطول (3 ,6 h)، عاد معدل التبخر للارتفاع إلى حوالي (**0.40** ml/min) (3 h)، (0.40ml/min) (6h)، وتساوى معدل التبخر مع المعدل الأصلي (قبل المغنطة)، مما يشير إلى أن التأثير المثبط بدأ يتلاشى بعد تجاوز النافذة الزمنية المثلى (90min).

5- بعد المغنطة بفترة زمنية طويلة (9h)، حدث انخفاض ملحوظ آخر في معدل التبخر، حيث وصل إلى حوالي (0.29ml/min) ، وكان فقدان الحجم (10ml) وفقدان الكتلة (**13.8**g) منخفضين جداً، مما يماثل تقريباً نتائج فترة 90min ويشير إلى وجود نافذة زمنية مثلى ثانية للتثبيط عند التعرض الأطول للمجال المغناطيسي.

6- بعد المغنطة بفترات زمنية طويلة جداً h(**12** و**24** و**48**)، حدث ارتفاع حاد في معدل التبخر بعد h **12** ، حيث وصل إلى حوالي (0.51ml/min)، متجاوزاً المعدل الأصلي، وعاد المعدل لينخفض مجدداً إلى حوالي (0.37ml/min) بعد h **24**، ثم إلى حوالي (0.34ml/min) بعد h **48** ، عائداً نحو مستويات التثبيط الملاحظة في الفترات القصيرة والمتوسطة، وظل فقدان الكتلة في نطاق متوسط (16.5g عند h **12**، g **14.6** عند h 24، g **13.6** عند h **48**).

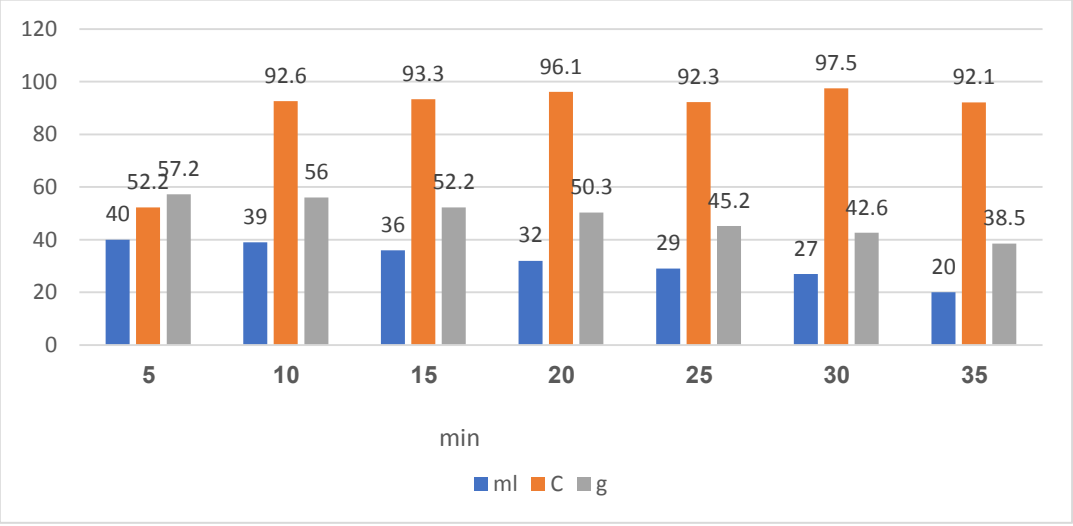
مما سبق، نستنتج أن للمجال المغناطيسي تأثيرا في معدل تبخر ماء العينة رقم **(3)** "منطقة "البرناوي"، وهذا التأثير يعتمد بشكل كبير على فترة التعرض للمجال، وأتبع التأثير نمطاً متذبذباً أو دورياً، حيث يظهر تثبيط للتبخر في فترات زمنية معينة (30-90min، وحوالي 9 h)، يليه تلاشي لهذا التأثير والعودة للمعدل الأصلي (3 -6 h)، ثم تسارع كبير للتبخر (12h)، ثم عودة للتثبيط/الاستقرار h(**24** و**48**)، كما توجد "نوافذ زمنية مثلى" لتحقيق أقصى قدر من التثبيط لمعدل التبخر، أبرزها عند حوالي**90** min وحوالي **9** h من التعرض للمجال المغناطيسي، وهذا السلوك المعقد والمتغير زمنياً يؤكد أن تأثير المعالجة المغناطيسية ليس بسيطاً ويتطلب مراعاة المدة الزمنية بعد إزالة المجال لتحقيق الأهداف المرجوة (مثل تقليل التبخر).

4.1.4. العينة رقم (4): الزاوية المركز "منطقة الركينة"، عمق البئر (40 m)

جدول(4-31) بيانات العينة رقم (4) قبل المغنطة (v=40ml, T=19.9c^0, m=57.3g)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	52.2	57.2
10	39	92.6	56
15	36	93.3	52.2
20	32	96.1	50.3
25	29	92.3	45.2
30	27	97.5	42.6
35	20	92.1	38.5

1.4.1.4. العينة رقم (4) قبل المغنطة



شكل (4-32): يوضح خصائص العينة رقم (4) قبل المغنطة (v=40ml, T=19.9c^0, m=57.3g)

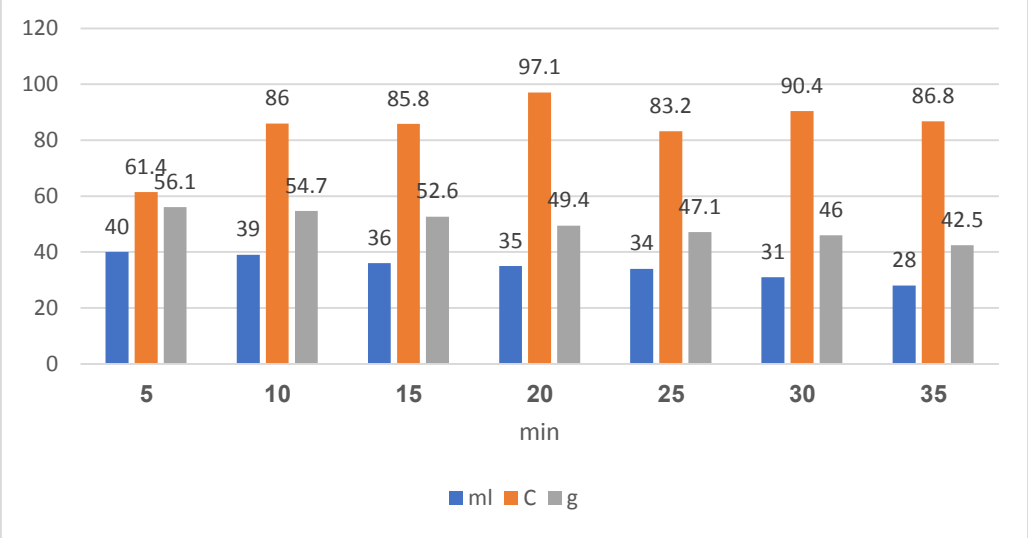
يُظهر الشكل (4–32) بيانات العينة رقم (4) قبل المغنطة تغيرات ملحوظة في خصائص مياه الآبار بمنطقة الدراسة خلال فترة التبخر الطبيعي، وتحليل البيانات يكشف عن علاقة عكسية بين مرور الزمن وكل من الحجم والكتلة، حيث انخفض حجم الماء من (40 ml) إلى (20 ml) بنسبة 50٪، بينما تراجعت الكتلة من (57.2g) إلى (38.5ml) بمعدل تناقص (32.7٪) خلال35min، بالمقابل، أظهرت درجة الحرارة تذبذباً ملحوظاً مع اتجاه تصاعدي عام، إذ ارتفعت من ($52.2C^0$)عند الدقيقة الخامسة لتصل إلى ذروتها 97.5 درجة عند الدقيقة الثلاثين، يلفت الانتباه أن أعلى معدل فقدان للماء حدث بين 30 min و35 حيث تناقص الحجم بمقدار(7ml). هذه النتائج تشير إلى أن عملية التبخر تتسارع مع ارتفاع درجة الحرارة، وتقدم أساساً مرجعياً مهماً لمقارنته لاحقاً مع نتائج العينات المعرضة للمجال المغناطيسي، مما قد يساعد في تقييم فعالية المعالجة المغناطيسية كتقنية لتحسين خصائص المياه. الملاحظ أيضاً أن العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التبخر ليست خطية تماماً، مما يشير إلى تداخل عوامل أخرى في الظاهرة تستدعي دراسات إضافية للكشف عنها.

2.4.1.4. العينة رقم (4) بعد المغنطة

جدول (4–32) بيانات العينة رقم (4) بعد 30 min من المغنطة

بقوة 15,000 G (m=56.6g, v= 40ml, T=28.6C^0)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	61.4	56.1
10	39	86	54.7
15	36	85.8	52.6
20	35	97.1	49.4
25	34	83.2	47.1
30	31	90.4	46
35	28	86.8	42.5



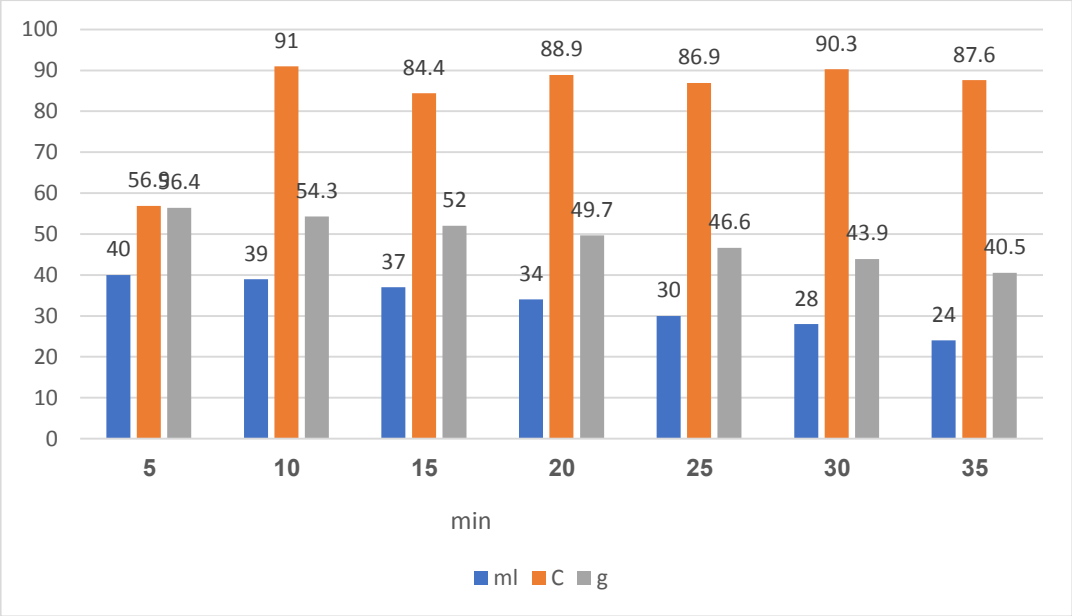
شكل (4–33): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد 30 min من المغنطة

بقوة 15,000G (m=56.6g, v= 40ml, T=28.6C^O)

يُظهر الشكل **(4–33)** بيانات العينة رقم **(4)** بعد معالجتها مغناطيسياً بقوة (15,000G) لمدة **30** min تغيرات ملحوظة في سلوك التبخر مقارنة بالعينة قبل المغنطة، خلال **25**min من الرصد، انخفض حجم الماء من ml**(40** إلى **28)** بنسبة **15%** فقط، بينما تراجعت الكتلة من g (56.1 إلى **47.1)** بمعدل انخفاض **16%**. هذه النتائج تكشف عن انخفاض واضح في معدل التبخر مقارنة بالعينة غير الممغنطة التي فقدت **27.5%** من حجمها و**21%** من كتلتها خلال نفس الفترة الزمنية، علاوة على ذلك، أظهرت درجات الحرارة نمطاً مختلفاً بعد المغنطة، حيث بدأت بدرجة حرارة أعلى ($61.4c^0$) مقابل ($52.2c^0$)، مع تذبذب أقل حدة، يشير هذا التباين إلى أن المعالجة المغناطيسية قد غيّرت الخصائص الفيزيائية للماء، مما أثر على ديناميكية التبخر وقدرة الماء على الاحتفاظ بالحرارة، هذه النتائج تدعم فرضية أن المعالجة المغناطيسية يمكن أن تُحدث تغييرات هيكلية في جزيئات الماء، مما قد يُحسّن من خصائصه ويقلل من معدل فقدانه بالتبخر، وهو ما يمكن استثماره في تطبيقات عملية متعددة لترشيد استهلاك المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة.

جدول (4–33) بيانات العينة رقم (4) بعد 60 min من المغنطة ($V=40ml, m=56.8g, T=27.6c^0$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	56.9	56.4
10	39	91	54.3
15	37	84.4	52
20	34	88.9	49.7
25	30	86.9	46.6
30	28	90.3	43.9
35	24	87.6	40.5

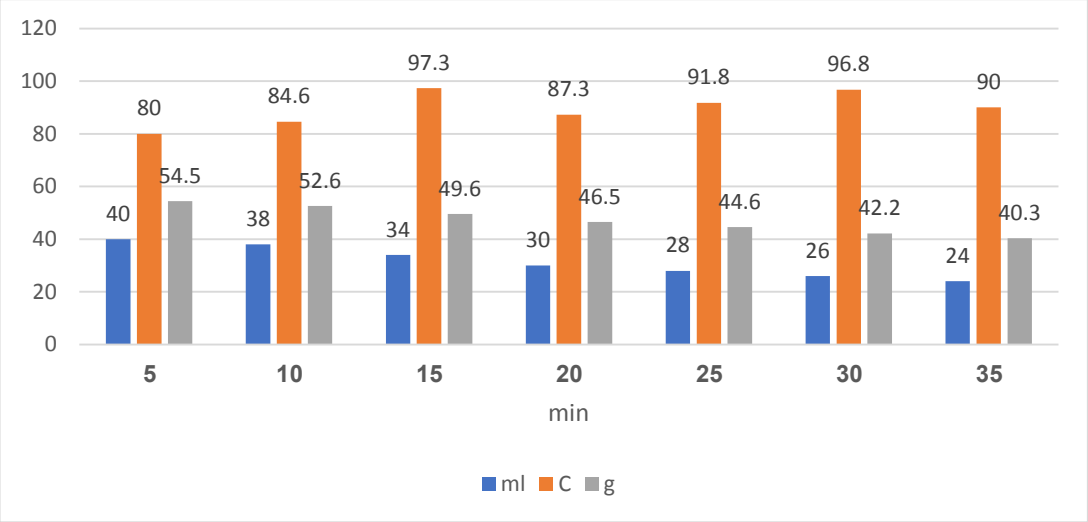


شكل (4–34): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد 60 min من المغنطة
(V=40ml, m=56.8g, T=27.6c^0)

يوضح الشكل **(4–34)** بيانات العينة رقم **(4)** بعد **60** min من المغنطة بقوة (15,000G) نجد تطورات مهمة في سلوك التبخر لمياه الآبار بمدينة الزاوية. خلال فترة الرصد البالغة (35min)، انخفض حجم الماء من ml(**40** إلى **24**) بنسبة **40%**، وتراجعت الكتلة من(**56.4** g) إلى (**40.5** g) بنسبة **28.2%**، مقارنة بالعينة قبل المغنطة التي فقدت **50%** من حجمها، يظهر تحسن طفيف في مقاومة التبخر، لكنه أقل وضوحاً من العينة بعد **30**min من المغنطة، ويلاحظ أيضاً أن نمط تغير درجة الحرارة أصبح أكثر استقراراً، حيث تراوحت بين C^O(**56.9** و**91**)، مع تذبذبات أقل حدة من العينة غير الممغنطة، هذه النتائج تشير إلى أن تأثير المعالجة المغناطيسية على خصائص الماء قد يتغير مع الوقت، حيث يبدو أن الفعالية القصوى للمغنطة تتحقق بعد (30min) من المعالجة ثم تبدأ بالتراجع تدريجياً، هذا الاكتشاف له أهمية تطبيقية كبيرة في تحديد الفترة المثلى للمعالجة المغناطيسية للمياه، والتي يمكن توظيفها في تحسين كفاءة استخدام المياه في القطاعات الزراعية والصناعية، وفي تطوير استراتيجيات مستدامة لإدارة الموارد المائية في المناطق ذات الندرة المائية.

جدول (4–34) بيانات العينة رقم (4) بعد 90 min من المغنطة (T=27.7c^0, m=55.6g, v=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	80	54.5
10	38	84.6	52.6
15	34	97.3	49.6
20	30	87.3	46.5
25	28	91.8	44.6
30	26	96.8	42.2
35	24	90	40.3



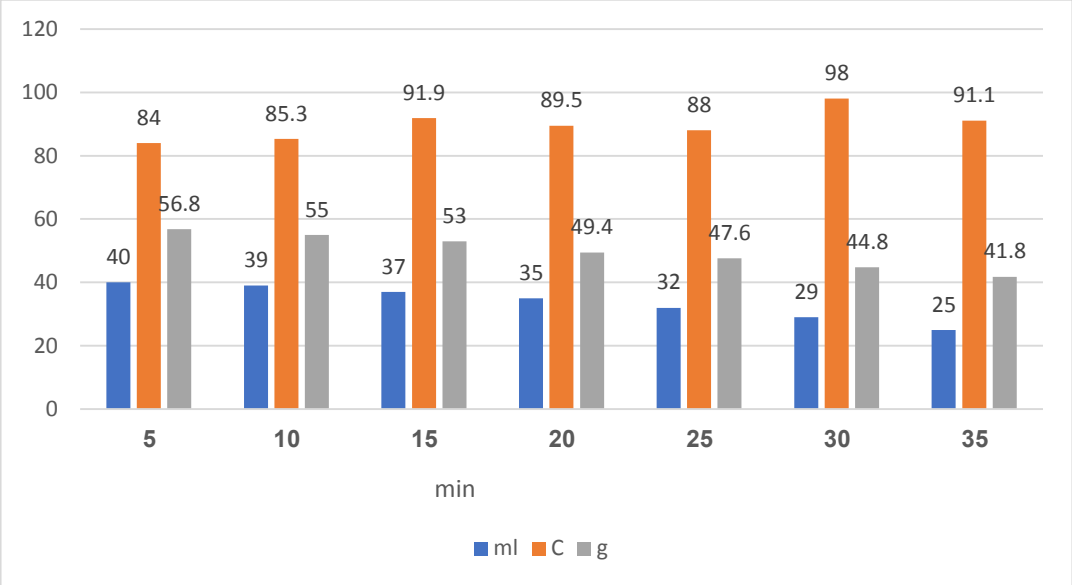
شكل (4–35): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد 90 min من المغنطة (T=27.7C^O, m=55.6g, v=40ml)

يوضح الشكل (4–35) بيانات العينة رقم (4) بعد 90 min من المغنطة بقوة (15,000G) تطوراً مثيراً للاهتمام في سلوك تبخر مياه الآبار، خلال فترة الرصد الممتدة لـ (35min)، انخفض حجم الماء من (40ml) إلى(24ml) بنسبة **40%**، وتناقصت الكتلة من(54.5g) إلى (40.3g) بنسبة **26%**، هذه النتائج متقاربة مع العينة بعد (60min) من المغنطة، مما يشير إلى استقرار نسبي في تأثير المعالجة المغناطيسية بعد تجاوز فترة الستين دقيقة، يُلاحظ أن درجات الحرارة سجلت قيماً أعلى منذ البداية ($80C^O$) مقارنة بالقياسات السابقة، مع استمرار تذبذبها خلال فترة القياس، ووصولها إلى ذروة بلغت ($97.3C^0$)**97.3** درجة مئوية عند (15min)، مقارنة بالعينة غير الممغنطة، تظهر هذه العينة تحسناً في مقاومة التبخر بنسبة **10%** من حيث الحجم و**6%** من حيث الكتلة، هذه النتائج تعزز فرضية أن المعالجة المغناطيسية تحدث تغييرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء ، وتؤثر على

قوى الترابط بين جزيئاته، مما يقلل من معدل التبخر بشكل ملموس، تكتسب هذه النتائج أهمية استراتيجية في المناطق التي تعاني من شح المياه، حيث يمكن استثمار تقنية المغنطة كوسيلة فعالة لتقليل الفاقد المائي وتحسين كفاءة استخدام المياه في مختلف التطبيقات الزراعية والصناعية والمنزلية.

جدول(4-35) بيانات العينة رقم (4) بعد مرور 3 h من المغنطة (v=40ml, T=28c^0, m=58g)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	84	56.8
10	39	85.3	55
15	37	91.9	53
20	35	89.5	49.4
25	32	88	47.6
30	29	98	44.8
35	25	91.1	41.8



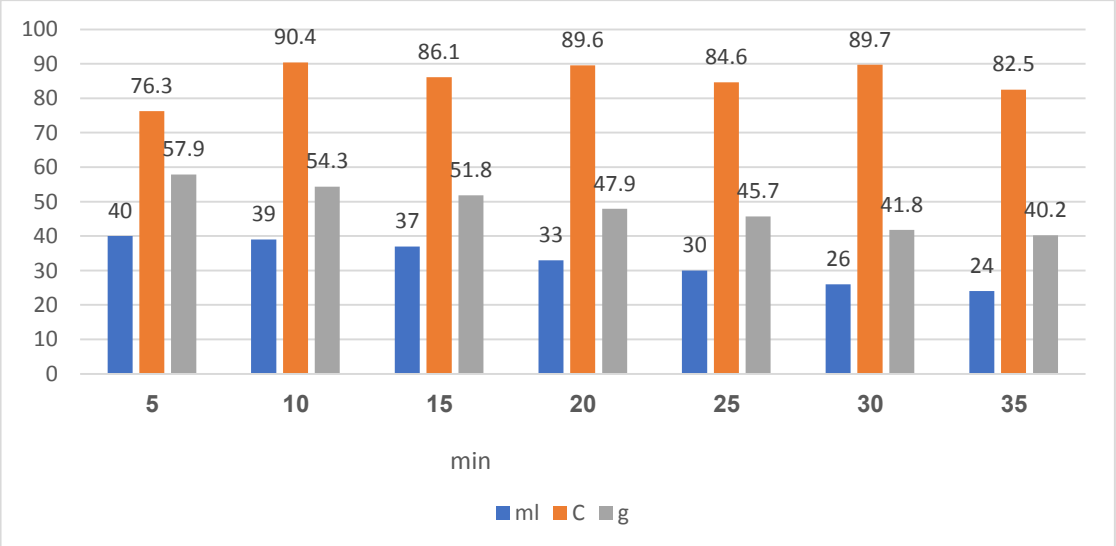
شكل (4-36): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 3 h من المغنطة (v=40ml, T=28C^0, m=58g)

يقدم الشكل **(4-36)** بيانات العينة رقم **(4)** بعد **3** h من المغنطة بقوة(15,000G) رؤى قيّمة حول استمرارية تأثير المعالجة المغناطيسية على خصائص مياه الآبار بمدينة الزاوية، خلال فترة القياس البالغة(35min) ، انخفض حجم الماء من(40ml) إلى (25ml)بنسبة **37.5%**، بينما تراجعت الكتلة من (56.8g) إلى (41.8g) بنسبة **26.4%**، تُظهر هذه النتائج تحسناً ملموساً مقارنة بالعينة قبل المغنطة التي فقدت **50%** من حجمها و**32.7%** من وزنها خلال نفس الفترة الزمنية، ولوحظ أيضاً أن درجات الحرارة كانت

مرتفعة منذ بداية القياس ($84C^0$) مع استقرار نسبي في نطاق C^0(84-98)، المثير للاهتمـــام أن تأثير المعالجة المغناطيسية لا يزال فعالاً بعد(3h) من المغنطة، بل يبدو أن فعاليته تحسنت مقارنة بالعينات بعد min(**60** و **90**) من المعالجة، هذا الاكتشاف يشير إلى ظاهرة "الذاكرة المغناطيسية" للماء، حيث تستمر التغييرات الهيكلية في جزيئات الماء لفتـــرات طويلـــة بعـــد المعالجة المغناطيسية. تكتسب هذه النتائج أهمية كبيرة في التطبيقات العملية، إذ توفر مؤشرات على إمكانية معالجة المياه مغناطيسياً واستخدامها لساعات دون فقدان خصائصها المحسّـــنة، مما يفتح آفاقاً واعدة لتطوير تقنيات مستدامة لترشيد استهلاك المياه وتحسين كفاءة استخدامها في المناطق الجافة.

جدول(4–36) بيانات العينة رقم (4) بعد مرور 6 h من المغنطة ($m=58.6g, v=40ml, T=26.1C^0$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	76.3	57.9
10	39	90.4	54.3
15	37	86.1	51.8
20	33	89.6	47.9
25	30	84.6	45.7
30	26	89.7	41.8
35	24	82.5	40.2

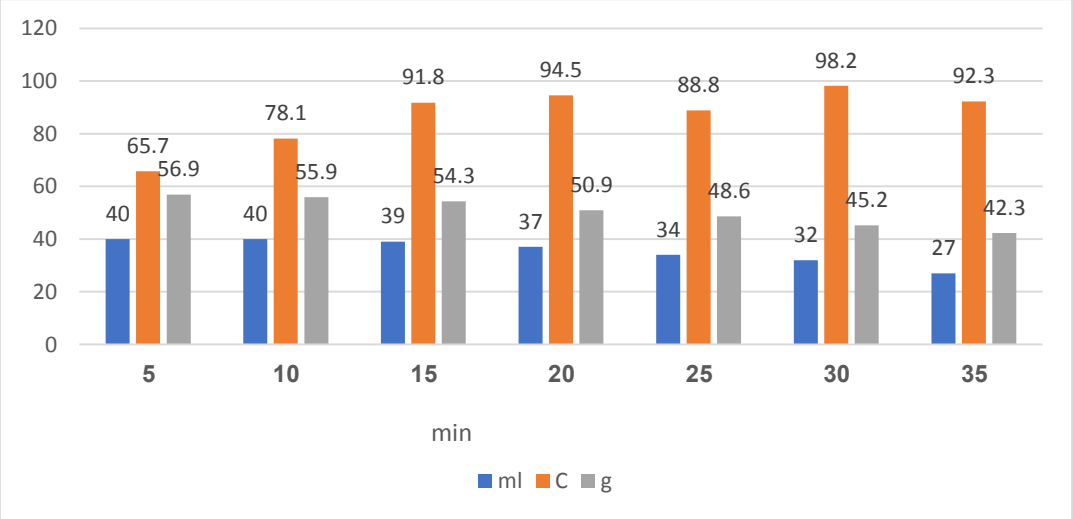


شكل (4–37): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 6 h من المغنطة ($m=58.6g, v=40ml, T=26.1C^0$)

يكشف الشكل (4–37) بيانات العينة رقم (4) بعد 6 min من المغنطة بقوة (15,000G) عن تطورات مهمة في تأثير المعالجة المغناطيسية طويلة المدى على خصائص مياه الآبار بمدينة الزاوية، فخلال فترة الرصد البالغة (35min)، انخفض حجم الماء من (40ml) إلى (24ml) بنسبة **40%**، وتراجعت الكتلة من (57.9g) إلى (40.2g) بنسبة **30.6%**، مقارنة بالعينة قبل المغنطة، يُلاحظ تحسن بنسبة **10%** في معدل فقدان الحجم و**2.1%** في معدل فقدان الكتلة، ورغم أن التأثير الإيجابي للمغنطة لا يزال ملحوظاً بعد 6h، إلا أنه يظهر انخفاضاً طفيفاً مقارنة بالعينة بعد3h من المغنطة، مما يشير إلى بداية تلاشي التأثير المغناطيسي تدريجياً، ويُلاحظ أيضاً أن متوسط درجات الحرارة كان أقل نسبياً متوسط ($85.6C^0$) مقارنة بالقياسات السابقة، مع استمرار التذبذب المعتاد، هذه النتائج تعزز من الفهم لديناميكية "الذاكرة المغناطيسية" للماء، حيث تبدأ الخصائص المكتسبة بالتراجع بعد فترة زمنية محددة، وتقدم هذه البيانات مساهمة قيمة لتحديد النافذة الزمنية المثلى لاستخدام المياه الممغنطة في التطبيقات العملية، وتوفر أساساً علمياً لتطوير أنظمة عمل للمعالجة المغناطيسية للمياه بهدف تحسين كفاءة استخدامها وخفض معدلات الفقد بالتبخر في المناطق ذات الندرة المائية.

جدول (4–37) بيانات العينة رقم (4) بعد 9h من المغنطة (m=57.2g, T=26.1C^0, V=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	65.7	56.9
10	40	78.1	55.9
15	39	91.8	54.3
20	37	94.5	50.9
25	34	88.8	48.6
30	32	98.2	45.2
35	27	92.3	42.3

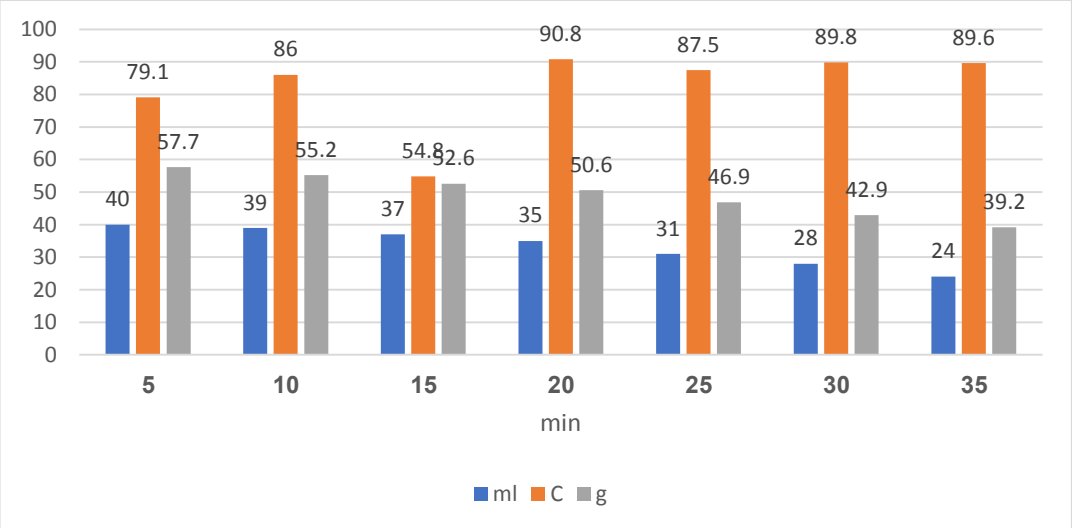


شكل (4–38): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد 9 h من المغنطة (m=57.2g, T=26.1C^0, V=40ml)

يُظهر الشكل **(4–38)** بيانات العينة رقم **(4)** بعد **9 h** من المغنطة بقوة (15,000G) تغيرات لافتة في سلوك تبخر مياه الآبار بمنطقة الدراسة، خلال فترة الرصد الممتدة لـ(35min)، انخفض حجم الماء من (40ml) إلى (27ml) بنسبة **32.5%**، بينما تراجعت الكتلة من (56.9g) إلى(42.3g) بنسبة **25.7%**، هذه النتائج تكشف عن تحسن ملحوظ في مقاومة التبخر مقارنة بالعينة قبل المغنطة التي فقدت **50%** من حجمها و**32.7%** من كتلتها، وتظهر أيضاً تفوقاً على العينة بعد **6h** من المغنطة. المثير للدهشة أن تأثير المغنطة بدا أكثر فعالية بعد **9h** مقارنة بالفترات الأقصر، خاصة في الفترة الأولى من القياس حيث احتفظت العينة بحجمها كاملاً **(40ml)** حتى الدقيقة العاشرة، وهي ظاهرة لم تلاحظ في أي من العينات السابقة، أظهرت درجات الحرارة نمطاً تصاعدياً واضحاً من ($65.7C^0$) إلى ($98.2C^0$)، مع استقرار أكبر مقارنة بالعينات السابقة، تشير هذه النتائج إلى وجود "نافذة زمنية مثلى" للاستفادة من التأثير المغناطيسي على المياه، وأن الآثار الإيجابية للمغنطة قد تتعزز بعد فترة زمنية محددة بدلاً من التلاشي التدريجي المتوقع، هذا الاكتشاف يفتح آفاقاً جديدة لفهم الآليات الفيزيائية المعقدة للمعالجة المغناطيسية للمياه، ويقدم إمكانيات واعدة لتطبيقات عملية في مجالات ترشيد استهلاك المياه والزراعة والصناعة.

جدول(4–38) بيانات العينة رقم (4) بعد مرور 12 h من المغنطة ($m=58.6g, T=25.9C^0, v=40ml$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	79.1	57.7
10	39	86	55.2
15	37	54.8	52.6
20	35	90.8	50.6
25	31	87.5	46.9
30	28	89.8	42.9
35	24	89.6	39.2

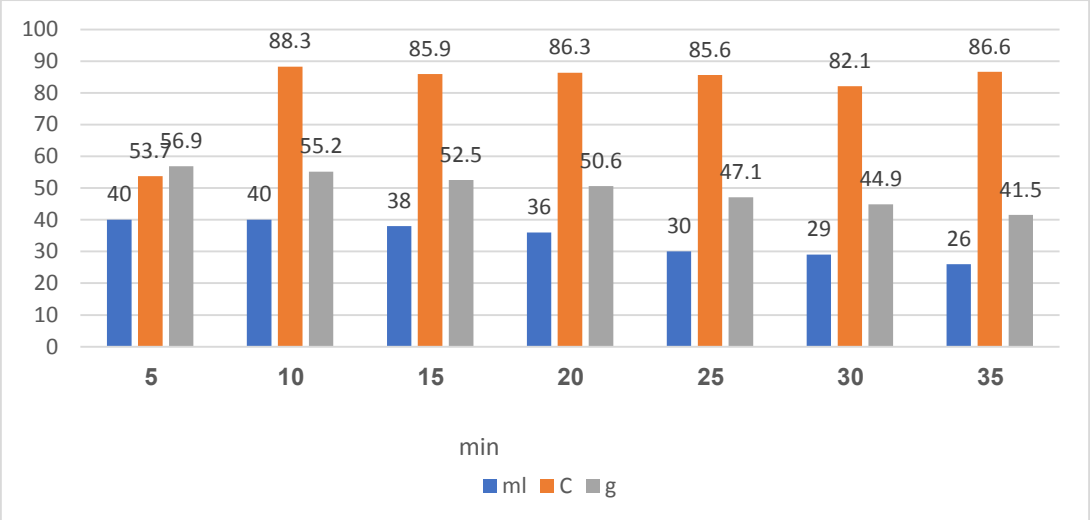


شكل (4–39): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 12 h من المغنطة ($m=58.6g, T=25.9C^0, v=40ml$)

يكشف الشكل (4−39) بيانات العينة رقم (4) بعد 12 h من المغنطة بقــوة (15,000G) عن تطورات مهمة في استدامة تأثير المعالجة المغناطيسية على خصائص مياه الآبــار بمدينــة الزاوية. خلال فترة الرصد البالغة (35min) ، انخفض حجم الماء من (40ml) إلــى (24ml) بنسبة **40%**، وتراجعت الكتلة من (57.7g) إلى (39.2g) بنسبة **32%**، مقارنــة بالعينــة قبــل المغنطة، يُلاحظ تحسن بنسبة **10%** في معدل فقدان الحجم، لكن معدل فقدان الكتلة كان مشــابهاً تقريباً للعينة غير الممغنطة، تظهر هذه النتائج تراجعاً في فعالية المعالجة المغناطيســية مقارنــة بالعينة بعد 9h من المغنطة، مما يشير إلى أن "النافذة الزمنية المثلى" لتأثير المغنطة قــد بــدأت بالانغلاق. يُلفت الانتباه الانخفاض الحاد في درجة الحرارة عند(15min) ($54.8C^0$) قبل عودتها للارتفاع مجدداً، وهي ظاهرة فريدة لم تلاحظ في القياسات السابقة. هذا التذبذب غير المعتاد في درجة الحرارة قد يشير إلى تغيرات في الخصائص الحرارية للماء مع تلاشي التأثير المغناطيسي، تقدم هذه البيانات رؤى قيمة حول الحد الزمني لفعالية المعالجة المغناطيسية، وتــوفر معلومــات حاسمة لتطوير بروتوكولات عملية لاستخدام المياه الممغنطة في مختلف التطبيقات، خاصة فــي مجالات الزراعة والري والصناعة، حيث يمكن جدولة إعادة المغنطة بناءً على هــذه الفتــرات الزمنية المحددة لضمان استمرار الفوائد المرجوة.

جدول (4−39)بيانات العينة رقم(4) بعد مرور 24 h من المغنطة (m=57.3g, T=28.1C^0, V=40ml)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	53.7	56.9
10	40	88.3	55.2
15	38	85.9	52.5
20	36	86.3	50.6
25	30	85.6	47.1
30	29	82.1	44.9
35	26	86.6	41.5

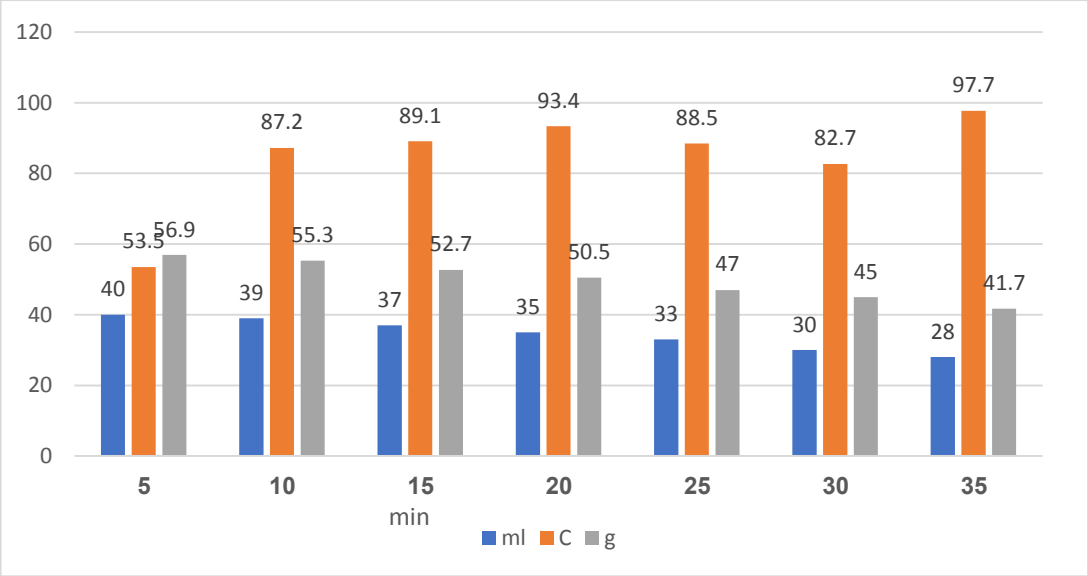


شكل (4−40): يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 24 h من المغنطة (m=57.3g, T=28.1C^0, V=40ml)

يوضح الشكل **(4–40)** بيانات العينة رقم **(4)** بعد **24** h من المغنطة بقوة (15,000G) نتائج بالغة الأهمية حول استمرارية تأثير المعالجة المغناطيسية على المدى الطويل، خلال فترة الرصد الممتدة لـ(35min) ، انخفض حجم الماء من (40ml) إلى (26ml) بنسبة **35%**، بينما تراجعت الكتلة من (56.9g) إلى (**41.5**g) بنسبة **27.1%**، هذه النتائج تظهر تحسناً ملموساً في مقاومة التبخر مقارنة بالعينة قبل المغنطة التي فقدت **50%** من حجمها و**32.7%** من كتلتها، المثير للاهتمام أن العينة احتفظت بحجمها كاملاً (**40**ml) حتى الدقيقة العاشرة، وهي سمة مشابهة لما لوحظ في العينة بعد **9**h من المغنطة، مما يشير إلى استقرار نسبي في التأثير المغناطيسي، تميزت درجات الحرارة بنمط أكثر استقراراً ($81.2C^0$) مقارنة بالقياسات السابقة، مع انخفاض ملحوظ في الدقيقة الخامسة ($53.7C^0$). هذه النتائج تؤكد وجود "ذاكرة مغناطيسية" طويلة المدى للماء، حيث استمر التأثير الإيجابي للمغنطة لفترة **24**h كاملة، وهو ما يتجاوز التوقعات النظرية التقليدية، تحمل هذه المعطيات أهمية استثنائية للتطبيقات العملية، إذ تشير إلى إمكانية معالجة المياه مغناطيسياً بشكل يومي للحفاظ على خصائصها المحسّنة، مما يوفر حلاً عملياً وفعالاً من حيث التكلفة لمشكلات الفقد المائي في مختلف القطاعات، خاصة في المناطق التي تعاني من شح الموارد المائية مثل منطقة الدراسة.

جدول (4–40) بيانات العينة رقم (4) بعد مرور 48 h من المغنطة ($m=57.3g, T=28.1c^0, V=4Oml$)

الزمن / min	الحجم / ml	درجة الحرارة / C^0	الكتلة / g
5	40	53.5	56.9
10	39	87.2	55.3
15	37	89.1	52.7
20	35	93.4	50.5
25	33	88.5	47
30	30	82.7	45
35	28	97.7	41.7



شكل (4−41)يوضح خصائص العينة رقم (4) بعد مرور 48 h من المغنطة (m=57.3g, T=28.1C^0, V=40ml)

يقدم الشكل **(4−41)** بيانات العينة رقم **(4)** بعد **48** h من المغنطة بقوة (15,000G) نتائج حاسمة حول استمرارية التأثير المغناطيسي على خصائص مياه الآبار بمنطقة الدراسة، خلال فترة الرصد البالغة (35min)، انخفض حجم الماء من (40ml) إلى (28ml) بنسبة **28 %30**، وتراجعت الكتلة من (56.9g) إلى (41.7g) بنسبة **26.7%**. هذه النتائج تكشف عن تحسن ملحوظ في مقاومة التبخر مقارنة بالعينة قبل المغنطة، بفارق **20%** في معدل فقدان الحجم و**6%** في معدل فقدان الكتلة، وهو ما يفوق أداء العينة بعد **24h** من المغنطة، يُلاحظ نمط مشابه في سلوك درجة الحرارة للعينة بعد 24h، حيث بدأت بدرجة منخفضة (53C^0) ثم ارتفعت بشكل كبير في القياسات اللاحقة. هذه النتائج غير المتوقعة تشير إلى ظاهرة مثيرة للاهتمام تتمثل في وجود "تأثير ارتدادي" للمعالجة المغناطيسية، حيث تتحسن فعاليتها بعد فترة من التراجع النسبي، هذا الاكتشاف يتحدى النماذج التقليدية المتعلقة بتلاشي التأثير المغناطيسي مع الزمن، ويشير إلى وجود آليات معقدة تتضمن إعادة تنظيم جزيئات الماء بعد فترات زمنية محددة، تحمل هذه النتائج أهمية بالغة للبحوث المستقبلية والتطبيقات العملية، إذ تفتح آفاقاً جديدة لفهم الخصائص الفيزيائية للمياه الممغنطة، وتقدم إمكانات واعدة لتطوير تقنيات مبتكرة في مجالات معالجة المياه وترشيد استخدامها بما يتناسب مع تحديات الأمن المائي في المناطق الجافة وشبه الجافة.

وكشفت نتائج اختبار تأثير المجال المغناطيسي على معدل التبخر للعينة رقم (4):

1- قبل المغنطة، كان معدل التبخر الطبيعي مرتفعاً، حيث فقدت العينة **50%** من حجمها و**32.7%** من كتلتها خلال (35min)، بمعدل تبخر يقارب (0.57ml/min).

2- بعد المغنطة بفترات زمنية قصيرة min(**30** و**60** و**90**)، لوحظ تحسن ملموس في مقاومة التبخر (انخفاض معدل التبخر) مقارنة بالحالة قبل المغنطة، وبعد min **30** انخفض حجم الماء بنسبة **15%** فقط مقارنة بـ **50%** قبل المغنطة، مما يشير إلى تثبيط قوي، وبعد min **60** لوحظ استمرار التحسن وإن كان أقل وضوحاً من min **30** (انخفاض الحجم بنسبة **40%** والكتلة بنسبة **28.2%**)، وبعد min **90** ، استمر التحسن (انخفاض الحجم بنسبة **40%** والكتلة بنسبة **26%**)، مما يعزز فرضية حدوث تغييرات في خصائص الماء تقلل التبخر، النتائج متقاربة مع min **60** ، مما يشير إلى استقرار في التأثير بعد تجاوز min **60** وحتى min **90** .

3- بعد المغنطة بفترات زمنية متوسطة h (**3** و**6**)، استمر التأثير المثبط في الظهور بعد h **3** (فقدان حجم بنسبة **37.5%** وكتلة بنسبة **26.4%** مقارنة بـ **50%** و**32.7%** قبل المغنطة)، مما يشير إلى وجود "ذاكرة مغناطيسية" تستمر لعدة ساعات، فبعد h **6** ، لوحظ انخفاض طفيف في فعالية التثبيط مقارنة بـ h **3** (فقدان حجم بنسبة **40%** وكتلة بنسبة **30.6%**)، مما يشير إلى بداية تلاشي التأثير تدريجياً.

4- بعد المغنطة بفترات زمنية أطول h(**9** و**24** و**48**)، عاد التأثير المثبط ليزداد فعالية بشكل ملحوظ بعد h**9** مقارنة بـ 6h (فقدان حجم بنسبة **32.5%** وكتلة بنسبة **25.7%**)، بل وتفوق أداؤها في الحفاظ على الحجم والكتلة على معظم القياسات السابقة (عدا ربما بعض النقاط الفردية). لوحظ احتفاظ العينة بكامل حجمها (40ml) حتى الدقيقة العاشرة في هذا القياس، وهي ظاهرة لم تسجل قبل ذلك، وبعد h**24**، استمر التأثير المثبط في التحسن (فقدان حجم بنسبة **35%** وكتلة بنسبة **27.1%**)، متفوقاً بشكل واضح على الأداء قبل المغنطة، بعد h **48** استمر التأثير المثبط في التحسن مجدداً (فقدان حجم بنسبة **30%** وكتلة بنسبة **26.7%**)، مسجلاً أعلى مستوى لتثبيط فقدان الحجم في جميع القياسات بعد المغنطة، أما بعد المغنطة بفترة زمنية طويلة (12h)، على عكس النمط المتزايد للتثبيط الذي لوحظ حتى h **9** ، حدث تراجع في فعالية التثبيط بعد h **12**، حيث كان فقدان الحجم (**40%**) والكتلة (**32%**) قريباً جداً من الحالة الأصلية قبل المغنطة، مما يشير إلى أن "النافذة الزمنية المثلى" للتثبيط بدأت بالانغلاق في هذه الفترة.

مما سبق، نستنتج أن للمجال المغناطيسي تأثيرا واضحا على معدل تبخر ماء العينة رقم **(4)**: الزاوية المركز "منطقة الركينة"، وهذا التأثير يتغير بشكل غير خطي ومعقد مع مرور الوقت بعد إزالة المجال، ويظهر التأثير بشكل رئيسي كتثبيط لمعدل التبخر، لكن فعاليته تتذبذب مع الزمن، حيث يبدأ قوياً في الفترات القصيرة، يضعف قليلاً، ثم يقوى مجدداً في فترات أطول h **(9 ، 24 ، 48)**، مما يشير إلى ظواهر مثل "الذاكرة المغناطيسية" وربما "تأثير ارتدادي" يعزز الفعالية بعد تراجعها الأولي، كما توجد "نوافذ زمنية مثلى" متعددة لتحقيق أقصى قدر من التثبيط لمعدل التبخر مثل(**48** h، **9** h، **30** min)، وهذه النتائج تبرز أهمية دراسة الديناميكيات الزمنية لتأثير المعالجة المغناطيسية لتحديد البروتوكولات المثلى التي تضمن استدامة الفوائد (تقليل التبخر) لأطول فترة ممكنة.

الفصل الخامس

المناقشة (Discussion)

1.5 مناقشة النتائج الرئيسية للدراسة.

2.5 التوصيـــــــــــات.

3.5 المقترحـــــــــــات.

4.5 الخاتمة (Conclusion).

5.5 المصـــادر والمراجـــع.

6.5 الملاحـــــــــــــق.

7.5 الملخص باللغة الإنجليزية (Abstract).

1.5. مناقشة النتائج العامة للدراسة:

بناءً على نتائج العينات الأربع حول دراسة "تأثير المجال المغناطيسي على معدل التبخر لمياه الآبار بمدينة الزاوية"، يمكن تلخيص النتائج العامة للدراسة كالتالي:

1- أثبتت الدراسة بوضوح أن تعريض مياه الآبار للمجال المغناطيسي بقوة (G **15,000**) يؤثر بشكل ملحوظ على معدل تبخرها مقارنة بالماء غير الممغنط، تتفق هذه النتيجة مع بعض الدراسات التي سجلت انخفاضًا في معدل التبخر بفعل المعالجة المغناطيسية، مثل دراسة Carbonell وآخرون **(2002)** التي وجدت أن تبخر الماء المقطر وماء الصنبور ومحاليل كلوريد الصوديوم انخفض بنسب متفاوتة عند التعرض لمجال بقوة (mlT **125**)، أيضًا أشارت محاكاة ديناميكا الجزيئات التي أجراها Chang & Weng **(2006)** إلى انخفاض في معامل الانتشار الذاتي لجزيئات الماء تحت تأثير المجال، وهو ما قد يُفسر انخفاضًا محتملاً في التبخر، من ناحية أخرى تتعارض هذه النتيجة مع عدد من الدراسات السابقة التي أشارت إلى أن التأثير المغناطيسي غالبًا ما يؤدي إلى زيادة في معدلات التبخر، على سبيل المثال، أظهرت دراسة Shao-yi وآخرون **(2006)** زيادة بمقدار **1.1** مرة في تبخر الماء المقطر عند تطبيق مجالات مغناطيسية، كما وجد Youkai وآخرون **(2018)** زيادة في كمية تبخر أنواع مختلفة من الماء المعالج مغناطيسيًا بقوة (300mlT) ، ولعل الأكثر صلة بالماء الآبار (الذي يحتوي على أيونات)، كما إن دراسة Amor وآخرون **(2021)** توصلت إلى أن وجود حقل مغناطيسي ساكن يزيد من كتلة تبخر الماء الأيوني بنسبة تصل إلى **24%**، مما يدعم فرضية أن الأيونات الذائبة في مياه الآبار قد تلعب دورًا في تعزيز هذا التأثير، ويمكن ترجيح سبب هذا الاختلاف في النتائج إلى عدة عوامل محورية؛ أهمها قوة المجال المغناطيسي المستخدم (G**15,000**) وهي قوة أعلى بكثير من تلك المستخدمة في دراسات سابقة، كذلك تكوين الماء نفسه (ماء مقطر مقابل ماء آبار غني بالأيونات)، ويبدو أن التفاعل بين المجال المغناطيسي والماء يعتمد بشكل كبير على هذه العوامل، مما يجعل تأثيره على التبخر ظاهرة حساسة ومعقدة تتطلب مزيدًا من البحث المعمق لفهم آلياتها الكاملة.

2- أظهرت الدراسة أن التأثير المغناطيسي على معدل التبخر ليس ثابتاً، بل يتغير بشكل كبير مع مرور الوقت بعد إزالة المجال، فقد لوحظ وجود أنماط متغيرة للتأثير (تثبيط، تحفيز، عودة للحالة الأصلية) تختلف باختلاف الفترة الزمنية التي يتم فيها قياس التبخر بعد المغنطة، تتفق هذه النتيجة من حيث المبدأ مع فكرة أن التأثير المغناطيسي يمكن أن يستمر لبعض الوقت بعد إزالة المجال، كما أشار Amiri & Dadkhah **(2006)** إلى أن انخفاض التوتر السطحي الناتج عن المغنطة استمر لأكثر من ساعة، مما يدل على وجود أثر متبقٍ، كذلك تُظهر دراسات أخرى مثل تلك التي قام بها Ansari وآخرون **(2014)** على الخرسانة، أو دراسة Mahdi وآخرون **(2019)** على المياه المعالجة بالتناضح العكسي، أن التأثير المغناطيسي يمكن أن يحدث تغييرات مستمرة (مثل تغييرات في خصائص المواد أو التركيب الأيوني) تُقاس بعد المعالجة، مما يدعم فكرة أن التأثير لا يختفي فورًا، من ناحية أخرى، لا تتناول معظم الدراسات السابقة صراحةً هذا النمط المتغير المحدد (تثبيط ثم تحفيز ثم عودة) لمعدل التبخر بعد إزالة المجال، فدراسات مثل Shao-yi وآخرون **(2006)** أو Youkai وآخرون **(2018)** أو Amor وآخرون **(2021)** تركزت على قياس معدل التبخر في وجود المجال أو كمية التبخر بعد فترة محددة من المعالجة دون تتبع التغير في النمط بمرور الوقت لاحقًا، وحتى دراسة Holysz وآخرون **(2007)** التي تتبعت التوصيلية والتبخر بمرور الزمن، لم توضح ظهور هذا التتابع من التثبيط والتحفيز والعودة، وبالتالي فإن هذه النتيجة لا تتعارض بشكل مباشر مع الدراسات السابقة بقدر ما تُقدم تفصيلاً زمنيًا أعمق للتأثير المغناطيسي لم يتم رصده بوضوح في الدراسات السابقة، ويمكن ترجيح سبب هذا التباين في رصد النمط الزمني إلى عدة عوامل؛ منها الاختلاف في قوة المجال المغناطيسي المستخدم ومدته، وتكوين مياه الآبار التي تحتوي على أيونات ومركبات أخرى قد تتفاعل مع المجال بطرق مختلفة عن الماء المقطر أو المحاليل البسيطة، وأخيرًا، ربما يعود الاختلاف إلى منهجية القياس والتقسيم الزمني لرصد معدل التبخر، حيث قد تتطلب ملاحظة هذه الأنماط المتغيرة دقة ورصدًا على فترات زمنية دقيقة وممتدة بعد زوال المؤثر الخارجي.

3- أظهرت النتائج أنه يمكن أن يكون التأثير المغناطيسي مثبطاً لعملية التبخر (يقلل من معدلها) أو محفزاً لها (يزيد من معدلها)، وتعتمد طبيعة التأثير على العينة والفترة الزمنية

بعد المعالجة، فبينما تشير بعض الدراسات إلى أن هذه المجالات يمكن أن تحفز عملية التبخر وتزيد من معدلها، تُظهر دراسات أخرى تأثيراً مثبطاً يؤدي إلى انخفاضه، هذه الازدواجية في التأثير لا تمثل تناقضاً بالضرورة، بل تسلط الضوء على الطبيعة المتغيرة لتفاعل الماء مع الحقول المغناطيسية اعتماداً على عوامل متعددة، أهمها خصائص العينة نفسها والمدة الزمنية التي انقضت بعد التعرض للمجال، ففي سياق تأثير المجال المغناطيسي على تبخر مياه الآبار، والتي تتميز بتركيبتها الأيونية والمعادن الذائبة، يمكن فهم هذا التباين بشكل أفضل، بعض الدراسات السابقة تتفق مع النتيجة التي تشير إلى تعزيز التبخر، على سبيل المثال أظهرت دراسة Shao-yi وآخرون **(2006)** أن معدل تبخر الماء المقطر يزيد بنسبة **1.1** مرة تحت تأثير المجال المغناطيسي، وبالمثل، وجد Youkai وآخرون **(2018)** أن معالجة الماء مغناطيسياً تؤدي إلى زيادة في كمية التبخر، كما أكدت دراسة Amor وآخرون **(2021)** أن وجود حقل مغناطيسي ساكن يزيد من كتلة التبخر بنسبة تصل إلى **24%**، هذه النتائج تتوافق مع فكرة أن المجال المغناطيسي يمكن أن يزيد من التبخر، ربما من خلال التأثير على الروابط الهيدروجينية أو التوتر السطحي كما أشارت دراسات أخرى، من جهة أخرى، تتناقض نتائج دراسات أخرى مع هذه النتيجة وتعرض تأثيراً مثبطاً، وتُعد دراسة Carbonell وآخرون **(2002)** مثالاً بارزاً على ذلك، حيث وجدت أن معدل تبخر الماء المقطر وماء الصنبور ومحاليل نترات الصوديوم كان أقل بنسب متفاوتة مقارنةً بالمجموعة الضابطة بعد المعالجة المغناطيسية، ويمكن ترجيح سبب هذا الاختلاف إلى عدة عوامل، بما في ذلك قوة المجال المغناطيسي، ونوعه (ساكن أو ديناميكي)، ومدة التعرض، وكذلك تركيب مياه الآبار، باحتوائها على نسب مختلفة من الأملاح والأيونات مقارنة بالماء المقطر أو حتى ماء الصنبور، تتفاعل مع المجال المغناطيسي بطرق قد تؤدي إلى تغييرات في هياكلها المجهرية وتجمعات الأيونات، مما قد يؤثر بدوره على طاقة التبخر والتوتر السطحي بشكل يختلف عن المياه النقية، دراسات مثل تلك التي قام بها Holysz وآخرون **(2007)** والتي بحثت في تأثير المجال في محاليل الكهروليت، أو Mahdi وآخرون **(2019)** التي نظرت في تأثيره في مستويات الأيونات، تسلط الضوء على أهمية التركيب الكيميائي للماء في تحديد استجابته للمجال المغناطيسي، كما أن التأثير قد لا يكون دائماً ومستقراً، بل قد يتغير مع مرور

الوقت بعد زوال المجال، وهو ما أشارت إليه بعض الأبحاث الأولية حول استمرار انخفاض التوتر السطحي لفترة محدودة. إن هذا التباين يؤكد الحاجة إلى دراسات معمقة تأخذ في الاعتبار التركيب المحدد لمياه الآبار عند تقييم تأثير المجال المغناطيسي على عملية تبخرها.

4- لوحظ اختلاف في استجابة العينات الأربع للمعالجة المغناطيسية، ففي حين بدأت العينتين رقم **1** و**3** بتأثير مثبط مبدئي للتبخر، بدأت العينة رقم **2** بتأثير محفز، وأظهرت العينة رقم **4** تثبيطاً قوياً ومستداماً نسبياً، وهذا يشير إلى أن خصائص الماء الأصلية (الموصلية Ec–TDs– T درجة الحرارة - PPT-TDS - PH) قد تلعب دوراً في كيفية تفاعلها مع المجال المغناطيسي، هذه نتيجة بالغة الأهمية تسلط الضوء على الطبيعة المعقدة لتفاعل المجالات المغناطيسية مع الماء، وتؤكد بشكل قاطع أن الخصائص الأصلية للسائل، تلعب دوراً محورياً في تحديد كيفية استجابته للمجال، هذه النتيجة تتناغم مع بعض الدراسات السابقة التي أشارت إلى أهمية تركيب الماء، على سبيل المثال وجدت دراسة Holysz وآخرون **(2007)** فروقاً في تأثير المجال المغناطيسي بين الماء النقي ومحاليل الكهروليت، مما يدل على أن وجود الأيونات يؤثر على الاستجابة المغناطيسية للماء وعلى كميات الماء المتبخرة، كما أظهرت دراسة Carbonell وآخرون **(2002)** أن معدل التبخر للمياه المعالجة مغناطيسياً كان أقل من المجموعة الضابطة لمياه مقطرة وماء صنبور ومحاليل NaCl، مع اختلاف في درجة التثبيط بين الأنواع المختلفة، وهو ما يدعم فكرة أن التركيب يلعب دوراً في مدى التأثير، كذلك، أشارت دراسة Mahdi وآخرون **(2019)** إلى أن المعالجة المغناطيسية تؤدي إلى تغيير مستويات بعض الأيونات في الماء، مما يشير إلى أن الأيونات مكون أساسي يتفاعل مع المجال، في المقابل، تتعارض هذه النتائج جزئياً مع دراسات أخرى ركزت على أنواع معينة من الماء ووجدت تأثيراً موحداً نسبياً، فدراسة Shao-yi وآخرون **(2006)** على الماء المقطر، ودراسة Youkai وآخرون **(2018)** على ماء الصنبور وأنواع مختلفة من الماء الممغنط، ودراسة Amor وآخرون **(2021)** على الماء الأيوني، جميعها أظهرت زيادة في معدل التبخر بشكل عام تحت تأثير المجال المغناطيسي، ويمكن ترجيح سبب هذا الاختلاف إلى أن مياه الآبار، بكونها نظاماً معقداً يحتوي على مزيج فريد من المعادن والأملاح والشوائب

العضوية وغير العضوية بتراكيز متفاوتة بين الآبار المختلفة (مما يفسر التباين بين العينات الأربع)، قد تتفاعل مع المجال المغناطيسي بطرق تؤدي إلى تكوين تجمعات جزيئية أو تغييرات في قوى التجاذب والتنافر بين الجزيئات والأيونات تختلف بشكل كبير عن الماء المقطر أو حتى ماء الصنبور القياسي، وهذه التغييرات الهيكلية على المستوى المجهري، والتي تحدث بفعل المجال كما أشارت دراسات مثل Chang & Weng **(2006)** التي نظرت في الروابط الهيدروجينية، ودراسة Pang وآخرون **(2012)** التي ربطت التغيرات في الخصائص الماكروسكوبية بالتغيرات في الهياكل المجهرية، قد تؤدي إما إلى تسهيل هروب جزيئات الماء من السطح (زيادة التبخر) أو إلى تثبيطها (تقليل التبخر) اعتماداً على الطبيعة الدقيقة لهذه التفاعلات التي تحكمها الخصائص الأصلية للماء نفسه.

5- تشير النتائج إلى وجود "نوافذ زمنية مثلى" بعد المغنطة يكون فيها التأثير المرغوب (تقليل التبخر) في ذروته، على سبيل المثال، لوحظ تثبيط قوي للعينة **(1)** عند **60** min , **12**h، وللعينة **(3)** عند **90** min و 9h ، وللعينة **(4)** في معظم الفترات وخاصة **30** min ,9h 48h,، في المقابل قد تؤدي فترات أخرى إلى تسارع التبخر (مثل العينة **1** عند **9** h، والعينة **3** عند **12** h)، تُعد هذه النتيجة محورية وتُقدم فهماً أعمق للطبيعة الديناميكية لتفاعل الماء الممغنط، هذه الظاهرة تؤكد أن التأثير المغناطيسي ليس ثابتاً بعد زوال المجال، بل يتغير بمرور الوقت، مما يشير إلى أن التغيرات الهيكلية أو الطاقوية التي يسببها المجال تخضع لعمليات استرخاء (relaxation) وتطور زمني، وهذه النتيجة تتفق ضمنياً مع الدراسات التي لم تعتبر التأثير فورياً أو دائماً، على سبيل المثال إشارة النص إلى أن تأثير المجال المغناطيسي على التوتر السطحي استمر لأكثر من ساعة، ففي Chibowski وآخرون **(2018)** التي استخدمت مغناطيس نيوديميوم حلقي، تُقدم دليلاً على أن التأثير له مدة زمنية محدودة، وإن لم تتناول الدراسة تفاصيل التذبذبات الزمنية، أيضاً، قياس Holysz وآخرون **(2007)** لتأثير المجال "مع مرور الزمن" يقر بأهمية البعد الزمني في متابعة استجابة الماء والمحاليل للمغنطة، في المقابل تبدو هذه النتيجة مختلفة عن العديد من الدراسات التي قدمت نتائج التأثير كمعدل عام أو نسبة تغيير ثابتة، فدراسة Shao-yi وآخرون **(2006)**، ودراسة Youkai وآخرون **(2018)**، ودراسة Amor

وآخرون **(2021)**، ودراسة Carbonell وآخرون **(2002)**، جميعها قدمت نتائج عن زيادة أو نقصان في معدل التبخر بنسبة معينة مقارنةً بالضابط، دون الخوض في تفاصيل التغيرات الدقيقة لهذه النسبة على مدار فترات زمنية متعددة بعد المعالجة، ويمكن ترجيح سبب هذا الاختلاف إلى أن تلك الدراسات ربما تكون قد اختبرت التأثير في نقطة زمنية محددة أو حسبت متوسط التأثير على فترة زمنية أطول، مما يخفي التذبذبات والنوافذ الزمنية المثلى الملاحظة في الدراسة الحالية، كما أن التركيب الفريد لمياه الآبار، مقارنة بالماء المقطر أو المحاليل البسيطة التي استخدمت في بعض الدراسات الأخرى، قد يؤدي إلى آليات استرخاء هيكلي مختلفة وأكثر تعقيداً بعد المغنطة، تتجلى في هذه "النوافذ الزمنية".

6- أظهرت النتائج استمرار التأثير (سواء تثبيط أو تحفيز) لساعات بل لأيام بعد إزالة المجال المغناطيسي حيث أشارت إلى أن الماء يحتفظ بنوع من "الذاكرة المغناطيسية" أو أن التغييرات الهيكلية/الجزيئية التي تحدث تستمر لفترة طويلة، هذه الظاهرة تتجاوز التأثير الفوري المباشر للمجال وتؤكد على أن التفاعلات المغناطيسية مع الماء قد تؤدي إلى إعادة ترتيب للجزيئات أو تجمعاتها أو هياكل غلاف الأيونات المائي تستغرق وقتاً طويلاً لتعود إلى حالتها الأصلية، هذه النتيجة تتوافق مع الدراسات التي أشارت إلى أن التأثيرات المغناطيسية لا تزول فوراً بعد إزالة المجال، على سبيل المثال ذكرت دراسة Amiri & Dadkhah **(2006)** أن انخفاض التوتر السطحي للماء بعد المعالجة المغناطيسية استمر "لأكثر من ساعة"، وهذا يقدم دليلاً مباشراً على استمرارية التأثير بعد زوال المجال، وإن كانت المدة المذكورة أقصر بكثير من الأيام التي تشير إليها النتائج الحالية، كما أن دراسة Holysz وآخرون **(2007)** التي تابعت تأثير المجال على المحاليل الكهروليتية "مع مرور الزمن"، وإن لم تحدد المدة بعد إزالة المجال بوضوح، إلا أنها تقر بأهمية البعد الزمني في استجابة الماء والمحاليل، في المقابل تختلف هذه النتيجة بشكل ملحوظ عن العديد من الدراسات الأخرى التي قدمت قياسات لمعدل التبخر أو خصائص أخرى غالباً ما تكون تحت تأثير المجال مباشرةً أو في نقطة زمنية واحدة بعد المعالجة، فدراسات مثل Shao-yi وآخرون **(2006)**، وYoukai وآخرون **(2018)**، وAmor وآخرون **(2021)**، والتي أظهرت زيادة في معدل التبخر بفعل المغنطة، أو

دراسة Carbonell وآخرون **(2002)** التي أظهرت تثبيطاً، جميعها لـم تركـز بشـكل صريح على ديناميكية تلاشي التأثير على مدى فترات زمنية طويلة جداً بعد إزالة المجال، يمكن ترجيح سبب هذا الاختلاف إلى أن منهجية تلك الدراسات ربما لم تتضمن متابعـة كافية طويلة المدى للتأثير بعد المغنطة، أو أن أنواع المياه التي استخدمت فيها (مثل الماء المقطر أو ماء الصنبور) قد تختلف في تركيبها عن مياه الآبار، وإن الخصائص الفريـدة لمياه الآبار، الغنية بالمعادن والأيونات، قد تساهم في استقرار أكبر للتغييـرات الهيكليـة الناتجة عن المجال (كإعادة ترتيب غلاف الأيونات المائي أو تكوين تجمعـات جزيئيـة مختلفة)، مما يؤدي إلى فترة استرخاء أطول وبالتالي احتفاظ "بالذاكرة المغناطيسية" لفترة أطول مقارنة بالمياه النقية أو الأقل تعقيداً، وهو ما يتطلب المزيد من البحث لفهم آلياتـه الدقيقة.

7- أظهرت الدراسة أن درجات الحرارة تتبع أنماطـاً متذبذبـة ومختلفـة بعـد المعالجـة المغناطيسية مقارنة بالحالة الأصلية، مما قد يشير إلى تأثير قدرة الماء فـي امتصـاص الحرارة أو توزيعها، وهو ما يرتبط بعملية التبخر، هذه النتيجة المحورية تلقـي الضـوء على الآليات الكامنة وراء تأثير المجال المغناطيسي على التبخر، وهذه التذبذبات تشير إلى أن المجال قد يؤثر على الكيفية التي يمتص بها الماء الطاقة الحرارية أو يوزعها، وهـي عمليات مرتبطة بشكل مباشر بعملية التبخر التي تتطلب طاقة (حرارة كامنة)، هذه النتيجة تتوافق مع عدد من الدراسات السابقة التي تناولت تـأثير المجـال المغناطيسـي علـى الخصائص الحرارية للماء، على سبيل المثال أشارت دراسة Pang وآخـرون **(2012)** بوضوح إلى أن المجال المغناطيسي "يقلل من الحرارة النوعية" للماء، مما يعني أن الماء يحتاج إلى طاقة حرارية أقل لرفع درجة حرارته، وهذا التغيير في القدرة على امتصاص الحرارة يمكن أن يؤثر بالطبع على معدل التبخر، كما ذكرت دراسة Youkai وآخـرون **(2018)** أن معالجة الماء مغناطيسياً تؤدي إلى "انخفاض الحرارة النوعية" و"تغيير نقطـة الغليان"، وكلاهما خاصيتان حراريتان تتأثران بتفاعل الماء مع المجال، وتؤثران بالتبعية على عملية التحول من الحالة السائلة إلى الغازية (التبخر والغليان)، هذه الدراسات تـدعم الفكرة بأن المجال المغناطيسي يغير من قدرة الماء على التعامل مع الطاقة الحرارية، مما قد يفسر التذبذبات الملاحظة في درجات الحرارة، من ناحية أخـرى لا تتعـارض هـذه

النتيجة بشكل مباشر مع الدراسات التي ركزت على معدل التبخر نفسه مثل دراسات (Amor *et al*., 2021 ؛Carbonell *et al*., 2002 ؛Shao-yi, *et al*., 2006) لأن التغييرات في درجات الحرارة أو الخصائص الحرارية هي آليات محتملة تفسر التغير في معدل التبخر، وليست نتيجة متعارضة معه، ومع ذلك فإن طبيعة "التذبذبات" الملاحظة في درجات الحرارة بعد المعالجة قد لا تكون قد تم رصدها أو الإشارة إليها صراحةً في الدراسات السابقة التي قد تكون ركزت على قياسات متوسطة للحرارة أو معدلات تبخر شاملة على فترات زمنية أطول، ويمكن ترجيح سبب هذه التذبذبات إلى أن التغيرات الهيكلية أو الطاقوية التي يحدثها المجال في مياه الآبار المعقدة التركيب (بسبب الأيونات والمعادن) تتطور وتسترخي بطرق غير خطية بمرور الوقت بعد زوال المجال، مما يؤثر على قدرة الماء على الاحتفاظ بالحرارة أو توزيعها أو حتى تبديدها عن طريق التبخر نفسه، وهذه التفاعلات المعقدة بين المجال والتركيب الأيوني للماء وديناميكية التغيرات الهيكلية الزمنية هي التي قد تؤدي إلى ظهور هذه الأنماط المتذبذبة في درجات الحرارة.

8- تفتح نتائج الدراسة آفاقاً واعدة لتطبيق المعالجة المغناطيسية في إدارة الموارد المائية، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة، ويمكن استخدامها كوسيلة لتقليل فقدان المياه بالتبخر في التخزين أو الري، بشرط تحديد نظام عمل مناسب بناءً على نوع الماء والمدة الزمنية المطلوبة للتأثير، هذا الاستنتاج يتوافق بشكل كبير مع هدف العديد من الدراسات السابقة والتي تبحث عن تطبيقات عملية لتأثير المجال المغناطيسي على الماء، على سبيل المثال، تُظهر دراسات مثل دراسة Youkai وآخرون **(2018)** ودراسة Amor وآخرون **(2021)** أن المعالجة المغناطيسية يمكن أن تزيد من كمية التبخر، وهو ما قد يكون مفيداً في تطبيقات مثل تحلية المياه بالطاقة الشمسية كما أشار Rong-Qin وآخرون **(2017)** باستخدام طبقات مغناطيسية، بينما تشير دراسات أخرى مثل Carbonell وآخرون **(2002)** إلى إمكانية تقليل التبخر، وهذا هو الجانب الأكثر صلة بإدارة المياه في المناطق الجافة، في المقابل لا تتعارض هذه النتيجة التطبيقية مع أي من الدراسات السابقة بشكل مباشر، بل هي بمثابة استنتاج وتطبيق للظواهر التي بحثتها تلك الدراسات، فالدراسات التي وجدت زيادة في معدل التبخر مثل دراسات (Shao-yi *et al*., 2006؛ Youkai *et al*., 2018؛ Amor *et al*., 2021) قد تكون مفيدة في تطبيقات تتطلب زيادة التبخر،

بينما الدراسات التي وجدت تثبيطاً مثل دراسة Carbonell وآخرون **(2002)** هي الأكثر أهمية في تطبيقات تقليل الفقد بالتبخر، النقطة الحاسمة التي تبرزها النتائج الحالية هي أن تطبيق هذه التقنية بنجاح في مجال إدارة المياه يتطلب فهماً دقيقاً للاستجابة المحددة لكل نوع من أنواع المياه (مثل مياه الآبار بتركيبتها المتنوعة) وكيفية تغير هذه الاستجابة بمرور الوقت بعد المعالجة، وهذا يؤكد على ضرورة تحديد "نظام عمل مناسب" للمغنطة، بما في ذلك شدة المجال، مدة التعرض، والأهم، التوقيت الأمثل للاستفادة من "النوافذ الزمنية المثلى" للتأثير المرغوب، بناءً على الخصائص الفيزيائية والكيميائية الأصلية للماء المراد معالجته، وهذا الفهم المتعمق لآليات وتوقيتات التأثير، والذي أشارت إليه الدراسة الحالية (بشأن النوافذ الزمنية واستمرارية التأثير لساعات/أيام)، هو ما يميزها ويجعلها تفتح الباب أمام تطبيقات عملية أكثر كفاءة وموثوقية في المستقبل.

9- تؤكد الدراسة تعقيد العلاقة بين المجال المغناطيسي وخصائص الماء، والحاجة إلى مزيد من الدراسات لفهم الآليات الفيزيائية والكيميائية الدقيقة وراء هذه الظواهر الديناميكية والمتذبذبة، وتحديد انظمة عمل مثلى للمعالجة لضمان الفعالية والاستدامة في التطبيقات المختلفة، تتفق هذه النتيجة مع معظم الدراسات السابقة التي تؤكد مدى تعقيد العلاقة بين تطبيق المجالات المغناطيسية على الماء وتأثيراتها على خصائصه الفيزيائية، لا سيما عملية التبخر، حيث نجد إن نتائج الدراسات السابقة ليست موحدة، مما يعكس الطبيعة الديناميكية والمتغيرة لهذه الظواهر، فعلى سبيل المثال، فقد أشار Shao-yi وآخرون **(2006)** إلى زيادة ملحوظة في معدل تبخر الماء المقطر عند تعريضه لمجالات مغناطيسية، بينما قدمت دراسة Carbonell وآخرون **(2002)** نتائج متعارضة، حيث وجدوا انخفاضًا في معدل تبخر أنواع مختلفة من الماء، بما في ذلك ماء الصنبور ومحاليل ملحية، تحت تأثير مجال مغناطيسي، هذا التباين في النتائج من زيادة إلى نقصان، لا يدل إلا على أن التأثير المغناطيسي لا يعمل بآلية واحدة بسيطة، وأن عوامل أخرى تلعب دورًا حاسمًا، في سياق دراسة تأثير المجال المغناطيسي على تبخر مياه الآبار، والتي تتميز بتركيبة كيميائية متغيرة ومعادن ذائبة بنسب متفاوتة، يصبح فهم هذه التعقيدات أكثر إلحاحًا، حيث تشير الدراسات مثل دراسة Mahdi وآخرون **(2019)** التي بحثت في تأثير المجال على مياه التناضح العكسي وما يصاحب ذلك من تغيرات في مستويات الأيونات

المختلفة، ودراسة Holysz **(2007)** التي لاحظت تغييرات في وظائف التأين للأيونات، إلى أن المكونات الذائبة في الماء قد تتفاعل بشكل مختلف مع المجال المغناطيسي، مما يؤثر بدوره على خصائص الماء وسلوكه، بما في ذلك التوتر السطحي (Amiri & Dadkhah, 2006; Quan *et al.*, 2021) والبنية الجزيئية (Chang & Weng, 2006; Pang *et al.*, 2012) وحتى التفاعلات على السطح (Weiwei *et al.*, 2018; Abhishek *et al.*, 2021)، هذه الآليات المتنوعة والمتشابكة، والتي قد يغلب بعضها على بعض حسب طبيعة الماء وشدة المجال وظروف التجربة (Youkai *et al.*, 2018; Redouane, 2020)، تجعل من الصعب التنبؤ الدقيق بكيفية تأثير المجال المغناطيسي على معدل تبخر مياه بئر معينة دون فهم شامل للتفاعلات المعقدة الجارية، لذا فإن الحاجة إلى مزيد من الدراسات المعمقة لفهم الآليات الفيزيائية والكيميائية الدقيقة لهذه الظواهر المتغيرة، وتحديد نظام عمل امثل للمعالجة المغناطيسية التي تأخذ في الاعتبار خصائص مياه الآبار المحددة، أمر ضروري لضمان فعالية وموثوقية أي تطبيق عملي يهدف إلى تعزيز التبخر أو تحسين نوعية المياه باستخدام هذه التقنية الواعدة.

باختصار، تشير نتائج الدراسة إلى أن المجال المغناطيسي يؤثر في معدل تبخر مياه الآبار، وأن هذا التأثير معقد ويتغير بشكل كبير مع الزمن ويختلف بين العينات وخصائصها الفيزيائية، مع وجود فترات زمنية مثلى لتثبيط التبخر، مما يشير إلى إمكانات تطبيقية واعدة تتطلب فهماً أعمق للديناميكيات الزمنية.

2.5. التوصيات:

1- يوصى بتطبيق المعالجة المغناطيسية على مياه الآبار بغرض تقليل التبخر، ولكن يجب استخدام الماء المعالج خلال "النافذة الزمنية المثلى" التي يتم تحديدها تجريبياً لكل مصدر مياه لضمان أقصى فعالية.

2- يوصى بإجراء اختبارات أولية لكل مصدر مياه قبل التطبيق الموسع، وذلك نظراً لاختلاف استجابة العينات المختلفة للتأثير المغناطيسي، من الضروري إجراء اختبارات محدودة النطاق على مياه كل بئر أو مصدر قبل تطبيق المعالجة على نطاق واسع، لتحديد سلوك تبخر الماء الخاص به تحت تأثير المغنطة وتحديد نظام العمل الزمني الأنسب.

3- يُوصى بالنظر في إمكانية إعادة معالجة المياه المخزنة مغناطيسياً بشكل دوري، وذلك بناءً على تحديد فترة استدامة التأثير المرغوب لكل نوع من المياه.

4- يوصى بتقييم الجدوى الاقتصادية وكفاءة الطاقة لاستخدام المعالجة المغناطيسية لتقليل التبخر مقارنة بالتقنيات الأخرى المتاحة في إدارة المياه (مثل الأغطية، أو استخدام مواد كيميائية)، خاصة مع الأخذ في الاعتبار الحاجة المحتملة لإعادة المعالجة.

5- يجب إبراز أن المعالجة المغناطيسية هي تقنية فيزيائية لا تتضمن إضافة مواد كيميائية، مما يجعلها خياراً جذاباً وصديقاً للبيئة لتقليل فقدان المياه بالتبخر، خاصة في المناطق التي تتطلب حلولاً مستدامة.

3.5. المقترحات:

1- التعمق في البحث حول كيفية تأثير المجال المغناطيسي على المستوى الجزيئي (مثل الروابط الهيدروجينية، تجمعات الجزيئات، أو سلوك الأيونات المذابة) لتفسير التغيرات الملاحظة في معدل التبخر والخصائص الأخرى.

2- تطوير نماذج نظرية أو تجريبية للتنبؤ بكيفية تغير تأثير المعالجة المغناطيسية على خصائص الماء مع مرور الوقت بعد إزالة المجال، وفهم طبيعة وآليات "الذاكرة المغناطيسية" والسلوك المتذبذب الملاحظ.

3- دراسة تأثير خصائص المياه الأصلية المختلفة بشكل منهجي في استجابة الماء للمعالجة المغناطيسية وعلى طبيعة ومدة التأثير على التبخر.

4- إجراء دراسات واسعة النطاق لاختبار تأثير متغيرات المعالجة نفسها، مثل قوة المجال المغناطيسي المختلفة، فترة تعرض الماء للمجال أثناء المعالجة، معدل تدفق الماء عبر الجهاز، وتأثير تكرار المعالجة، لتحديد أفضل أنظمة عمل معالجة لأغراض محددة مثل تقليل التبخر.

6. الخاتمة (Conclusion)

هدفت هذه الدراسة إلى استقصاء تأثير المجال المغناطيسي في معدل تبخر مياه الآبار في مدينة الزاوية، بسلسلة من القياسات الدقيقة التي أجريت على عينات مياه من مصادر مختلفة في المنطقة، والتي أكدت على وجود علاقة بين التعرض للمجال المغناطيسي ومعدل تبخر الماء، ولكن هذه العلاقة ظهرت معقدة وغير خطية، متغيرة تبعاً لمصدر المياه المحدد

وفترة التعرض للمغنطة. لقد كشفت النتائج عن أنماط زمنية متباينة للتأثير، حيث أظهرت بعض العينات زيادة ملحوظة في معدل التبخر خلال فترات قصيرة بعد المغنطة، تلاها في بعض الأحيان انخفاض أو استقرار على المدى الأطول، بينما أظهرت عينات أخرى استجابات مختلفة تماماً، مما يشير بقوة إلى أن خصائص المياه الأصلية قبل المعالجة تلعب دوراً حاسماً في تحديد استجابتها للمغنطة وتطور هذه الاستجابة مع مرور الوقت، وبالإضافة إلى التغيرات في معدل التبخر، لاحظت الدراسة أيضاً تغيرات في بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة مغناطيسياً مقارنةً بالماء غير المعالج، مثل التغيرات في درجة الحرارة والكتلة المفقود، والتي قد تكون مرتبطة بالتأثير المحتمل للمجال المغناطيسي على بنية الماء، مثل التأثير على الروابط الهيدروجينية وتجمع جزيئات الماء، كما أشارت الدراسات السابقة، وتبرز هذه النتائج أهمية استكمال الأبحاث لفهم الآليات الأساسية التي يؤثر بها المجال المغناطيسي على الماء بشكل كامل، وتحديد العوامل المحددة (مثل التركيب الكيميائي للمياه، وشدة المجال، ومدة التعرض، ودرجة الحرارة المحيطة) التي تؤثر في فعالية المعالجة، كما تسلط الدراسة الضوء على الإمكانات التطبيقية الواعدة لهذه التقنية، خاصةً في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد المائية مثل مدينة الزاوية، حيث يمكن أن يسهم استخدام المياه المعالجة مغناطيسياً في تقليل فقد الماء الناتج عن التبخر في خزانات التخزين المفتوحة أو تحسين كفاءة استخدام الماء في الزراعة من خلال تأثيره المحتمل في امتصاص النباتات للماء ونموها، كما أن التباين الملحوظ في الاستجابة عبر عينات المياه المختلفة يؤكد على ضرورة تطوير أنظمة عمل معالجة مخصصة لكل نوع من المياه لضمان تحقيق الفعالية القصوى، بالتالي تفتح هذه الدراسة آفاقاً جديدة للبحث والتطوير نحو تطبيقات مستدامة لإدارة الموارد المائية، ولكنها تتطلب المزيد من الجهد العلمي والمعرفي لتحويل هذه الإمكانات النظرية إلى حلول عملية وفعالة تلبي الاحتياجات المتزايدة للمياه في المنطقة.

7. المصادر والمراجع

1.7. المراجع العربية:

1- إبراهيم، الصالحة محمد شعيب **(2016)**. تقدير مركبة الإشعاع الشمسي المنتشر لعدد من المناطق الليبية. رسالة ماجستير، كلية العلوم – جامعة طرابلس.

2- ارحومة، عتيقة إبراهيم عمار **(2025)**. تحليل تأثيرات الحقول المغناطيسية على المواد فائقة التوصيل. المجلة الأفريقية للعلوم البحتة والتطبيقية المتقدمة (AJAPAS)، **4(2)**، **32-47**.

3- البرغوثي، عبد الهادي محمد حمدان **(2020)** مقدمة في النظرية الكهرومغناطيسية (مفاهيم وأمثلة). الطبعة الأولى، ص ص: **369**

4- بريزنسكي، كلود **(2013)**. تاريخ العلوم. ترجمة: سارة رجائي يوسف، مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة، القاهرة–مصر، ص ص: **268**.

5- بن ذيب، شيماء، وكريمة بن خديم **(2020)**. الخصائص المغناطيسية وارتباطها باتجاه الحقل المغناطيسي المطبق لعينة Ag/Fe/MgO. رسالة ماجستير، كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة، ص ص: **72**.

6- بن ساسي، جويدة، ونادية عبايدي **(2018)**. تشخيص طبقة التروبوسفير باستخدام تقنية الليدار (LIDAR). كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، **91**.

7- بن سليمان، نور الهدى، ومنيرة شلغام **(2018)**. دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط باستعمال المضخة الحرارية. رسالة ماجستير، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، ص ص: **112**.

8- بن سناني، سامية **(2022)**. انتقال الأشعة الكونية في المجال المغناطيسي للأرض. أطروحة دكتوراه في الفيزياء النظرية، كلية العلوم – قسم الفيز ياء، جامعة باجي مختار–عنابة، ص ص: **91**.

9- جمعة، محمد علي حسن، وأمين إسماعيل بركة **(2024)**. أثر التغير المناخي في الموازنة المائية المناخية في إقليم البطحاء–تشاد. مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، **21(38)**، **67-117**.

10- الحكيم، عبير فاروق ساكن علي **(2023)**. استقصاء تأثير المجال المغناطيسي والماء الممغنط في بعض الصفات الحياتية لبعوض (Culex molestus Diptera: Culicidae). أطروحة دكتوراه، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة كربلاء، ص ص: **160**.

11- الحلفي، وأسعد رحمان، وعبد الكريم محمد عبد، وحيدر ابراهيم علي **(2021)**. تأثير اتجاه اقطاب المغناطيس في نمو وإنتاجية نبات الباميا. المجلة السورية للبحوث الزراعية **8(6)**، **97-104**

12- الخلف، يوسف، ومحمد خلدون درمش، ومحمد حسام بهلوان، ووفاء عيسى **(2023)**، أثر الري بمياه ممغنطة متباينة الملوحة في بعض الخواص الكيميائية لتربة وراشح منطقة كصكيص (محافظة حلب). المجلة السورية للبحوث الزراعية، **10(4)**، **290-300**.

13- دوغوظ، مازن، ومحمد حقون، وأيمن حجازي، وهادي نصر الله **(2019)**. تصميم برنامج حاسوبي لحساب الاحتياجات المائية للنبات. المجلة السورية للبحوث الزراعية، **7(1)**، **287-297**.

14- سلخان، مسعودة، ونادية غالي **(2018)**. دراسة حركة جزيئات نانوية الأبعاد في مجال كهرومغناطيسي. رسالة ماجستير في فيزياء المواد، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة-الجزائر، ص ص: **69**.

15- سليمان، بانه السيد **(2024)**. تحسين كفاءة الترسيب في محطات معالجة مياه الصرف الصحي. سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية، **46(7)**، **11-30**.

16- سوطه، صفاء مروة، وعايدة فقيه **(2021)**. محاولة إيجاد العلاقة بين التبخر من التربة والعناصر المناخية في منطقة ذات مناخ جاف"تقرت. رسالة ماجستير، كلية العلوم التطبيقية، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، ص ص: **75**.

17- شاكير، حيدر كاظم، كرار عماد عبد الصاحب الشمري، عمار حسن عبد، غسان رشيد موسى (2011). تأثير استخدام الماء الممغنط في الشرب في بعض الصفات الدمية لفروج اللحم. **1-12**

18- طالب، حوراء كاظم **(2023)**. الماء الممغنط. منشورات كليه تربية العلوم الصرفة، جامعه بابل-العراق، **1-31**، https://cdnx.uobabylon.edu.iq/undergrad_projs/DlZ4TK8pGUiqGZTIeriQ.pdf

19- العاني، افتخار عبد الجواد، ومزاحم محمود عبد، ونادية احمد مرعي **(2015)**. أثر تطبيقات تقنيات المغناطيسية في معالجة مياه الآبار المالحة لاستخدامها في ري نبات الحنطة والشعير/ شمال العراق. مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، **23(1)**، **278-286**.

20- العبيدي، مروان حاتم عبد الله **(2014)**. تأثير شرب الماء الممغنط على بعض الصفات الكمية لذبائح الحملان العواسية. مجلة الإسكندرية للتبادل العلمي، **35**، (JULY-SEPTEMBER) 296-301. doi: 10.21608/asejaiqjsae.2014.155609

21- عزيز، سلام جعفر **(2022)**. عرضٌ لسلوك الإشعاع الشمسي الصافي الجغرافي الذي يعكس ارتباطه بالرطوبة النسبية في العراق. المجلة العراقية للعلوم، **2741-2754**. https://doi.org/10.24996/ijs.2022.63.6.38

22- عمر، أم السعد عبد الهادي، وفاضل محمد بن يحمد، وإبراهيم محمد الشريف **(2023)**. أكالة مياه قابلة للتخصيص وإمكانية تشكيل القشور باستخدام مؤشرات التشبع لأبار المياه الشاطئية في مناطق بلدية إدري. مجلة العلوم البحتة والتطبيقية، **22(3)**، **60-66**.

23- العمري، عبد الله بن محمد **(2020)**. الجيوفيزياء التطبيقية. الطبعة الأولى، مكتبة الملك فهد الوطنية، ص ص: **784**.

24- عون، نجاة المبروك، وحميدة سالم كاموكا **(2019)**. دراسة بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لبعض أنواع مياه الشرب المعبأة المحلية. مجلة العلوم: عدد خاص بالمؤتمر السنوي الثالث حول نظريات وتطبيقات العلوم الأساسية والحيوية، **158-168**.

25- العيد، زغود، **(2006)**. المساهمة في دراسة تأثير الحقل المغناطيسي على الخصائص الفيزيوكيميائية للماء. رسالة ماجستير، كلية العلوم والعلوم الهندسية، جامعة قاصدي مرباح ورقلة-الجزائر، **80**.

26- العيساوي، نوري أبوفائد **(2020)**. مياه الآبار الخاصة الأهمية والمواصفات والأخطار المحتملة للاستخدام بلدية غريان أنموذج للدراسة **2018-2019**. مجلة كلية الآداب- جامعة الزاوية، **(29)**، **110-149**.

27- غدامسي، كريمة، وكريمة وناس **(2018)**. دراسة تجريبية ونظرية لظاهرتي التبخير والتكثيف. رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، ص ص: **101**.

28- غطفان، عمار، وبادية حيدر (2013). تقدير التبخر – نتح المرجعي الشهري في منطقة صافيتا باستخدام الشبكة العصبية الصنعية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، 35(4)، 27-43.

29- كباس، كوثر، وسامية صلوح (2020). تنقية المياه الملوثة: مقارنة بين محطتي تقرت (طريقة الحمأة المنشطة) ومحطة ورقلة (طريقة البحيرات). رسالة ماجستير، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح-ورقلة، ص ص: 101.

30- كنجو، علي (2010). مقارنة بعض طرق تقدير التبخر – نتح الكامن (ETP) في منطقة اللاذقية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم البيولوجية، 32(1)، 9-17.

31- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا) (2011). تقييم أثر تغير المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية إطار منهجي لإجراء تقييم متكامل. الأمم المتحدة، نيويورك، ص ص: 107

32- مصطفى، عمار محمود، وعلي حسن نيصافي، وفهيم علي عبد العزيز (2021). تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الآبار المستخدمة للشرب في بعض مزارع الدواجن في ريف صافيتا، سورية. المجلة السورية للبحوث الزراعية، 8(5)، 52-66.

33- معيتيق، أبوبكر أحمد، ومنتهي محمد مخلوف، وهيثم اسماعيل الضراط (2021). تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة باستخدام المياه المعالجة بالتقنية المغناطيسية. المؤتمر العلمي الرابع للعلوم الهندسية والتقنية (CEST)، الجامعة الأسمرية الإسلامية – كلية الهندسة، 177-184.

34- المنتدى العربي للبيئة والتنمية (2019). التربية البيئية: من أجل التنمية المستدامة في الدول العربية. بيروت-لبنان.

35- الموصلي، مظفر احمد (2013). الماء الممغنط. الطبعة الثانية، مكتبة غرب الطوس الإلكترونية، ص ص: 422.

36- نجم، فاطمة محمد، صفا عبدالله جاسم حسين، محمد جاسم محمد عباس، أفراح محمد عبود تركي، رسول عبد الأمير حمود سلمان (2024). تصميم منظومة طاقة مجانية (نموذج 2). المجلة الأوراسية للبحث والتطوير والابتكار، 33، 41-55.

37–نصر، فرج علي عمّار، وعبد السلام محمد المايل **(2017)**. الإدارة المتكاملـــة للمـــوارد المائية ودورها في الأمن المائي الليبي. بحوث اقتصـــادية عربيـــة، **27(79.78)**، **180**– **200**.

38– النقيب، سالم محمد، وعبد المطلب محمد حميدان، وفتحي خليفة اليعقوبي **(2019)**. الخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية بمنطقة زليتن وضواحيها. مجلة البحوث العلمية، **4(7,8)**، **72** – **78**. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1058582

2.7. المراجع الأجنبية:

1- Abd-Elaty, I., & Polemio, M. (2022). Environmental coastal management for groundwater resources using different aquifer bed slopes considering sea level rise risk. pp.107

2- Abhishek, Kaushal., Vishwajeet Mehandia., Purbarun Dhar. (2021). "Ferrohydrodynamics governed evaporation phenomenology of sessile droplets." Physics of Fluids, 33, 022006. https://doi.org/10.1063/5.0040712.

3- Aich, W., Hilali-Jaghdam, I., Alshahrani, A., Maatki, C., Alshammari, B. M., & Kolsi, L. (2024). Control of Three-Dimensional Natural Convection of Graphene–Water Nanofluids Using Symmetrical Tree-Shaped Obstacle and External Magnetic Field. Symmetry, 16(6), 692. https://doi.org/10.3390/sym16060692

4- Alsaidi, R., & Thiemann, T. (2025). Use of Natural Deep Eutectic Solvents (NADES) in Food Science and Food Processing. Sustainability, 17(5), 2293.

5- Alwediyani, H., Almasoudi, A., Abdulrahman, A., Kenkarr, N., Alsaidi, S., Khalofa, H., & Bjafar, F. (2015). The Change in Physical Properties of Magnetic Water. Int. J. Water Manag. India, 7, 45-55.

6- Aminfar, H., Mohammadpourfard M., Maroofiazar R., (2014). "Experimental study on the effect of magnetic field on critical heat flux of ferrofluid flow boiling in a vertical annulus." Experimental Thermal and Fluid Science, 58: 156-169. https://doi.org/10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2014.06.023.

7- Amiri, M. C., Dadkhah A., (2006). "On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment." Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 278: 252-255. https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2005.12.046.

8- Amor, Hamza Ben, Anis Elaoud, Hanen Ben Hassen, Taissire Ben Amor, Nahla Ben Salah, Didier Stuerga., Khaled Elmoueddeb (2021). "Experimental Study and Data Analysis of the Effects of Ions in Water on Evaporation Under Static Magnetic Conditions." Arabian Journal for Science and Engineering, 47, 5547 - 5553. https://doi.org/10.1007/s13369-021-05519-5.

9- Ansari, M., Khorshidi N., Bayat M. (2014). "An investigation of water magnetization and its influence on some concrete specificities like fluidity and compressive strength." Computers and Concrete, 13: 649-657. https://doi.org/10.12989/CAC.2014.13.5.649.

10- Auvert, Geoffroy, (2023). A unified definition of electrostatic and magnetic fields. Open Journal of Applied Sciences, 13, 793-801. https://doi.org/10.4236/ojapps.2023.135063

11- Byeonghee, Lee., Craig, Prater., William, P., King. (2012). 1. Lorentz force actuation of a heated atomic force microscope cantilever. Nanotechnology, doi: 10.1088/0957-4484/23/5/055709

12- Carbonell, E. Martinez, J. E. Diaz., (2002). "Evaporation of magnetically treated water and NaCl solutions." International Agrophysics, 16: 171-175. https://cutt.us/mwaXl

13- Chang, K., & Weng, C. (2006). The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. Journal of Applied Physics, 100, 043917. https://doi.org/10.1063/1.2335971.

14- Chibowski, E., Szcześ, A. & Hołysz, L., (2018). Influence of Magnetic Field on Evaporation Rate and Surface Tension of Water. Colloids and Interfaces, 2(4), p.68. Available at: https://doi.org/10.3390/COLLOIDS2040068.

15- Csemány, D., & Józsa, V. (2021). A Two-Parameter Corresponding States Method for Calculating the Steady-State Evaporation Rate of C2–C9 n-Alkane Droplets in Air for Elevated Pressures and Temperatures. Flow, Turbulence and Combustion, 107, 283 - 305. https://doi.org/10.1007/s10494-020-00238-7.

16- Davarzani, H., Gao, B., Helmig, R., & Smits, K. (2018). Experimental and Numerical Study of Evaporation From Wavy Surfaces by Coupling Free Flow and Porous Media Flow. Water Resources Research, 54, 9096 - 9117. https://doi.org/10.1029/2018WR023423.

17- Dey, D., Bose, A., Chakraborty, M., & Basu, S. (2007). Magnetic field effect on photoinduced electron transfer between dibenzo[a,c]phenazine and different amines in acetonitrile-water mixture. Journal of Physical Chemistry A, 111(5), 878–884. https://doi.org/10.1021/JP0661802

18- dos Santos, L. G., & Ferreira, K. S. (2021). Effects of magnetic field genetared by permanentmagnet in water pH. Brazilian Journal of Development, 7(5), 48579-48585.

19- Ezeh, E., Akagha, C. I., Okeke, O., Aniobi, C. C., & Nnadozie, C. F. (2021). Effect of Distance of Sanitary Pits on the Physicochemical Properties of Hand Dug Well Water Samples Consumed by People Living in Akwuke Community, Enugu South Local Government Area of Enugu State. Journal of Water Resource and Protection, 13(5), 340-349.

20- Farzadniya, A., Faeghi, F., & Shanehsazzadeh, S. (2017). Quantitative Effect of Magnetic Field Strength on PEGylated Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles. Applied Magnetic Resonance, 48(6), 597–607. https://doi.org/10.1007/S00723-017-0880-2

21- Guo, Y. Z., Yin, D. C., Cao, H. L., Shi, J. Y., Zhang, C. Y., Liu, Y. M., Huang, H. H., Liu, Y., Wang, Y., Guo, W. H., Qian, A. R., & Shang, P. (2012). Evaporation rate of water as a function of a magnetic field and field gradient. International journal of molecular sciences, 13(12), 16916–16928. https://doi.org/10.3390/ijms131216916

22- Hapipi, N. M., Mazlan, S. A., Ubaidillah, U., Abdul Aziz, S. A., Choi, S.-B., Nordin, N. A., Nazmi, N., Pang, Z., & Mohd Yusuf, S. (2021). Dual Properties of Polyvinyl Alcohol-Based Magnetorheological Plastomer with Different Ratio of DMSO/Water. Sensors, 21(22), 7758. https://doi.org/10.3390/s21227758

23- Hermann, P., Lebdusková, P., Helm, L., Toth, E., Kotek, J., Binnemans, K., Rudovsky, J., Lukes, I., & Merbach, A. (2008). Gadolinium (III) complexes of mono- and diethyl esters of monophosphonic acid analogue of DOTA as potential MRI contrast agents: Solution structures and relaxometric studies. Dalton Transactions, 4, 493–501. https://doi.org/10.1039/b612876a

24- Hill, S. J. (2013). Atomic absorption spectrometry | Flame. In Encyclopedia of Analytical Science (2nd ed.). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.00022-6

25- Hołyst, R., Litniewski, M., & Jakubczyk, D. (2015). A molecular dynamics test of the Hertz–Knudsen equation for evaporating liquids. Soft Matter, 11(36), 7201–7206. https://doi.org/10.1039/C5SM01508A

26- Holysz, L., Szczes, A., & Chibowski, E. (2007). Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions. Journal of Colloid and Interface Science, 316(2), 996-1002. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.08.026

27- Ivanov, A. S., (2018). "Anomalous interfacial tension temperature dependence of condensed phase drops in magnetic fluids." Physics of Fluids, 30: 052001. https://doi.org/10.1063/1.5022524.

28- Jawad, Saba., & Mahdi, K. (2023). Shear strength and chemical properties of soft clayey soil treated with magnetized water. Magazine of Civil Engineering, 124(8), 12406.

29- Karam, H., & Al-Shamali, O. (2013). Effect of using magnetized water on concrete properties. In Third International conference on sustainable construction materials and technologies (pp. 1-12).

30- Krasinskyi, V., Suberlyak, O., Antonuk, V., & Jachowicz, T. (2017). Rheological properties of compositions based on modified polyvinyl alcohol. Advances in Science and Technology. Research Journal, 11(3), 304-309.

31- Kumar, P. Vijaya., Santosh Kumar Patro., & Vedasamhita Pudi. (2014). Experimental study of a novel magnetic fuel ionization method in four stroke diesel engines. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 3(1), 151-159.

32- Laith A. Arar., Mahmoud M. Abu Ghanim., Marwan S. Dwaikat (2014). Treatment and Decolourization of Olive Mill Wastewater Using Magnetic Assisted Nanoparticle Adsorption Technology. Master's degree in Chemical Engineering. An-Najah National University, Nablus, Palestine.

33- Leong, C., Ahmad, R., & Jaafar, R. (2001). The development of fluxgate magnetometer for non-destructive measurement. Jurnal Teknologi, 34. https://doi.org/10.11113/jt.v34.636

34- Magomedov, M. (2023). On the accuracy of the Clausius-Clapeyron relation. Vacuum. https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112494.

35- Mahdi, O. Karkush., Mahmoud D. Ahmed., & Salem M. A. Al-Ani. (2019). "Magnetic Field Influence on The Properties of Water Treated by Reverse Osmosis " Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 9, No. 4: 4433-4439 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018305001

36- Mane, D. R., Sawant, V. S., & India, M. S. (2015). Comparative Study of Effect of Magnetic Field and Magnetically Treated Water on Growth of Plants and Crop Yield. International Journal for Scientific Research and Development, 3(2), 300–302. http://ijsrd.com/Article.php?manuscript=IJSRDV3I2356

37- Matioui, Abdeljalil. (2022). Brief historical review about magnetism: From the ancient Greeks up to the beginning of the XXth century. Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences, 3. https://doi.org/10.37871/jbres1561

38- Mghaiouini, Redouane., Mohammed Salah., Mohamed Monkad & Abdeslam El Bouari (2020). "Effect of physicochemical parameters on magnetic treatment of water " E3S Web of Conferences, 183: 05001 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018305001

39- Mohammed, S., & Mansouri, R. (2020). The effect of magnetic treatment on some physical properties of Seawater1. Libyan Journal of Science &Technology, 11(2).

40- Mugisidi, D., & Heriyani, O. (2023). The Impact of Wind Speed on the Rate of Water Evaporation in a Desalination Chamber. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 106(1), 39–50. https://doi.org/10.37934/arfmts.106.1.3950

41- Nagaev, E. I., Molkova, E. A., Pustovoy, V. I., Matveeva, T. A., Zakharov, D. A., Simakin, A. V., Stepanova, E. V., Semenova, N. A.,

Reut, V. E., Kalinitchenko, V. P., Kozlov, V. A., & Bunkin, N. F. (2023). Possible Approaches to Studying the Influence of Magnetic Fields and Mechanical Effects on the Physicochemical Properties of Aqueous IgG Colloids. Applied Sciences, 13(24), 13055. https://doi.org/10.3390/app132413055

42- Nagata, Y., Usui, K., & Bonn, M. (2015). Molecular Mechanism of Water Evaporation. Physical Review Letters, 115(23), 236102. https://doi.org/10.1103/PHYSREVLETT.115.236102

43- Nussinov, Z., & van den Brink, J. (2015). Compass models: Theory and physical motivations. Reviews of Modern Physics, 87(1), 1-59. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.87.1

44- Oroud, I. (2022). Integration of GIS and remote sensing to derive spatially continuous thermal comfort and degree days across the populated areas in Jordan. International Journal of Biometeorology, 66, 2273 - 2285. https://doi.org/10.1007/s00484-022-02355-6.

45- Pakmor, R., Marinacci, F., Marinacci, F., Springel, V., & Springel, V. (2014). Magnetic fields in cosmological simulations of disk galaxies. The Astrophysical Journal, 783(1). https://doi.org/10.1088/2041-8205/783/1/L20

46- Pan, M., Radola, B., Saremi, O., Allen, C. C. R., & English, N. J. (2024). Methane Hydrate Formation in the Presence of Magnetic Fields: Laboratory Studies and Molecular-Dynamics Simulations. Energy & Fuels. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c04596

47- Pang X., Shen G., (2013). " Changes in the physical properties of water caused by magnetic field and their mechanism". Modern Physics Letters B, 27: 1350228. https://doi.org/10.1142/S021798491350228X.

48- Pang, X., Deng B., Tang B. (2012). "Influences of magnetic field on macroscopic properties of water." Modern Physics Letters B, 26: 1250069. https://doi.org/10.1142/S0217984912500698.

49- Pang, X., Pang, X., & Deng, B. (2008). Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. Science China-Physics Mechanics & Astronomy, 51(11), 1621–1632. https://doi.org/10.1007/S11433-008-0182-7

50- Pollok, S., Olden-Jørgensen, N., Jørgensen, P. S., & Bjørk, R. (2023). Magnetic field prediction using generative adversarial networks. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 571, 170556.

51- Post, V.E.A., M. Eichholz, R. Brentführer (2018): Groundwater management in coastal zones. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover, Germany,

52- Putti, F. F., Vicente, E. F., Chaves, P. P. N., Mantoan, L. P. B., Cremasco, C. P., Arruda, B., Forti, J. C., Junior, J. F. S., Campos, M., Reis, A. R. d., & Filho, L. R. A. G. (2023). Effect of Magnetic Water Treatment on the Growth, Nutritional Status, and Yield of Lettuce Plants with Irrigation Rate. Horticulturae, 9(4), 504. https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504

53- Quan, J., Wang, Y., Gu, X., Xing, G., Yang, L., Zhao, C., Wu, P., Zhao, F., Hu, B., & Hu, Y. (2021). Application of magnetic fields to wastewater treatment and its mechanisms: A review. Science of The Total Environment, 773, 145476. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145476

54- Redouane, M., Salah, M., Monkad, M., & Abdeslam, E. B. (2020). Effect of physicochemical parameters on magnetic treatment of water. E3S Web of Conferences, 183, 05001. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018305001

55- Rong Chen, Xun Wang, Qimao Gan, Tuqiao Zhang, Kehang Zhu and Miaomiao Ye. (2017). "Magnetically recyclable self-assembled thin films for highly efficient water evaporation by interfacial solar heating." RSC Advances, 7, 19849-19855. https://doi.org/10.1039/C7RA03007J.

56- Samadi, K., Goshayeshi, H., Nejati, V., Saleh, S., & Chaer, I. (2024). Computational fluid dynamics-based analysis of magnetic field effect on improvement the performance of stepped solar still. Experimental Techniques, 48. https://doi.org/10.1007/s40799-024-00714-z

57- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Physics for scientists and engineers with modern physics (10th ed.). Cengage Learning.

58- Shao-yi, Wu., Sun, Y.-L., & Jia, S.-Y. (2006)."Effects of Magnetic Field on Evaporation of Distilled Water." Journal of Petrochemical Universities. https://cutt.us/SDl5B

59- Shyam, Sudip., Pranab Kumar Mondal., Balkrishna Mehtab (**2020**). "Field driven evaporation kinetics of a sessile ferrofluid droplet on a soft substrate." Soft matter. https://doi.org/10.1039/d0sm00345j.

60- Sinurat, E., Setiowati, A.D., Isharyadi, F., Damayanti, N.TE, Susanto, DA Kristiningrum, E., Suroto, D.A., Setyaningsih, W. (2024). Improving the quality of dried seaweed (Gracilaria sp.) through the implementation of good aquaculture practices (GAP) in Brebes, Central Java. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, Vol. 19, No

61- Sronsri, C., U-yen, K., Sittipol, W. (2021). Analyses of vibrational spectroscopy, thermal property and salt solubility of magnetized water. Journal of Molecular Liquids, 323, 114613. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114613

62- Stefan Pollok, Nataniel Olden-Jørgensen, Peter Stanley Jørgensen, and Rasmus Bjørk (2023). Magnetic field prediction using generative adversarial networks. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 571, 170556.

63- Stemler, A. (2023). Rotational direction of a weak magnetic field selectively targets chiral clusters in liquid water and modifies its chemical reactivity. Journal of Water Chemistry and Technology, 45, 544–551. https://doi.org/10.3103/S1063455X23060115 Ben Yahia, H., Shikano, M., Tabuchi, M., Kobayashi, H., Avdeev, M., Tan, T. T., Liu, S., & Ling, C. D. (2014). Synthesis and characterization of the crystal and magnetic structures and properties of the hydroxyfluorides Fe(OH)F and Co(OH)F. Inorganic chemistry, 53(1), 365–374. https://doi.org/10.1021/ic402294g

64- Stifter, M. (2012). Lorentz force actuated resonant MEMS magnetometer with capacitive read-out (Doctoral dissertation, Technische Universität Wien).

65- Tahir, Nawroz Abdul-Razzak & Hero Fatih Hama Karim (2010). Impact of magnetic application on the parameters related to growth of chickpea (Cicer arietinum L.). Jordan Journal of Biological Sciences, 3(4), 175-184.

66- Tamta, S., Kashyap, P. S., & Kumar, P. (2018). Estimation of Evaporation in Hilly Area by Using Ann and Canfis System Based Models. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(1), 911–919. https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2018.701.111

67- Tanny, J., & Cohen, J. (2008). Revisiting the boundary layer structure used in Craig and Gordon's model of isotope fractionation in evaporation. Isotopes in Environmental and Health Studies, 44, 11 - 21. https://doi.org/10.1080/10256010801887091.

68- Tao, W., Shao, F., Yan, H., & Wang, Q. (2024). Microbial Organic Fertilizer Combined with Magnetically Treated Water Drip Irrigation Promoted the Stability of Desert Soil Aggregates and Improved the Yield and Quality of Jujubes. Plants, 13(14), 1930. https://doi.org/10.3390/plants13141930

69- Tofani, K., & Tiari, S. (2021). Magnetic nanoparticle hyperthermia for cancer treatment: A review on nanoparticle types and thermal analyses. Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy, 4. https://doi.org/10.1115/1.4051293

70- Wang, K., Wang, W., & Huang, L. (2023). Study on heat exchange of groundwater under complex geological conditions in karst area of south China. Frontiers in Earth Science, 11, 1162303.

71- Weiwei, Zhang., Longqiu Li., Zhang G. (2018). "Interfacial structure and wetting behavior of water droplets on graphene under a static magnetic field." Journal of Molecular Liquids. https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2018.08.042.

72- Xylem Analytics. (n.d.). MultiLine® 3630 IDS multiparameter portable meter: User manual. WTW. https://www.xylemanalytics.com/en/File%20Library/Resource%20Library/WTW/01%20Manuals/ba77170e04_3630_Multi.pdf

73- Yang, L., Liu, W., Zhu, M., Adamowski, J., Barzegar, R., Wen, X., & Yin, Z. (2021). Effect of Elevation on Variation in Reference Evapotranspiration under Climate Change in Northwest China. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su131810151.

74- Youkai, Wang., Huinan Wei., Zhuangwen Li. (2018). "Effect of magnetic field on the physical properties of water. " Results in physics, 8: 262-267. https://doi.org/10.1016/J.RINP.2017.12.022

75- Zhang, B., Yan, G., Zhao, Y., Zhou, C., & Lu, Y. (2017). Coal pyrite microwave magnetic strengthening and electromagnetic response in magnetic separation desulfurization process. International Journal of Mineral Processing, 168. https://doi.org/10.1016/j.minpro.2017.10.004

76- Zhang, S., Zhong, Q., Yang, J., & Wang, D. (2024). The corrosion behavior of Fe-Co-Si alloy under magnetic field. Journal of Solid-State Electrochemistry, 28, 1–11. https://doi.org/10.1007/s10008-024-05987-3

Abstract

This study aimed to investigate the effect of a magnetic field on the evaporation rate of well water in Zawiya city, Libya, and the study was conducted in 2024. The primary objectives of this study were to evaluate the impact of exposing water to a magnetic field on the evaporation rate of four different well water samples collected from various locations and depths within Zawiya city. In addition, the study sought to analyze the different physical and chemical properties of the water that might be influenced by the magnetic field and link these changes to the observed evaporation rates. An experimental methodology was followed, where water samples were exposed to a static magnetic field of 15,000 Gauss using a Magnetron device. Physical properties (volume, weight, and temperature) and chemical properties (pH, electrical conductivity, total dissolved solids, and concentrations of sodium, calcium, potassium, and magnesium ions) were measured for each sample before magnetic treatment and at different time intervals (ranging from minutes to hours) after exposure to the field. Standard laboratory equipment such as a Multiline p4 device and a flame photometer were used to collect the data. The collected data was then analyzed to identify significant changes and trends. The results showed that magnetic treatment significantly affects the evaporation rate of well water, although the observed effect varies depending on the specific well source, the duration of magnetic field exposure, and the time elapsed after treatment. Complex evaporation patterns were observed, including initial increases in the evaporation rate shortly after treatment for some samples, followed by periods of decrease or stability over the long term. Notably, one sample (Al-Rukaynah, 40m deep) showed improved resistance to evaporation after 24 hours compared to the untreated sample. The study also found changes in a

number of physical and chemical properties of the water, such as temperature fluctuations, rates of weight/volume loss, and some ion concentrations, indicating that the magnetic field affects the structure and physical and chemical properties of the water, which subsequently influences its evaporation behavior. The complex patterns observed, including a potential "magnetization memory" effect where the influence persists or changes over time, underscore the necessity for detailed studies on the optimal timing for applying treated water after magnetization. Based on these findings, the study recommends exploring the practical potential of magnetic water treatment for conserving water in agriculture and industry. Future research should focus on conducting more detailed experiments on a wider range of water types and magnetic field parameters, developing standardized protocols for applying magnetic water treatment, and further investigating the underlying mechanisms of these effects and the observed "magnetization memory" to maximize the benefits for sustainable water resource management, especially in areas suffering from water scarcity challenges.