دراسة تأثير درجات الحرارة على كفاءة إزالة COD, N, P في المعالجة البيولوجية

م. هناء جرجس/ عضو هيئة فنية–جامعة حماه

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة تأثير درجات الحرارة على كفاءة إزالة COD و N وP في المعالجة البيواوجية بالحمأة المنشطة.

تم في هذا العمل:

1– تحليل بيانات مقاسة في محطة الدوير بحمص خلال أشهر السنة، وأظهرت النتائج مايلي:

– كفاءة إزالة BOD_5 تتراوح مابين 78%إلى91% وتكون أعلى قيمة لفعالية الإزالة عند أعلى درجة حرارة وسطية مقاسة $27.2\ C^o$.

– كفاءة إزالة COD تتراوح مابين 62%إلى87% وتكون أعلى قيمة لفعالية الإزالة عند أعلى درجة حرارة وسطية مقاسة $27.2C^o$.

2– تشغيل مفاعل SBR مخبري لمعالجة مياه صرف صحي خلال أشهر مختلفة من السنة، وأظهرت النتائج مايلي:

– كفاءة إزالة COD تتراوح ما بين (82–60)% حيث بلغت أعلى قيمة عند درجة حرارة $27C^0$.

– كفاءة إزالة P تتراوح ما بين (89–48)% حيث بلغت أعلى قيمة عند درجة حرارة $27C^0$.

– كفاءة إزالة NH4 تتراوح ما بين (89–46)% حيث بلغت أعلى قيمة عند درجة حرارة $27C^0$.

الكلمات المفتاحية: معالجة بيولوجية– درجات الحرارة– P–N–COD

study the effect of temperature on the removal efficiency of COD, N, and P in biological treatment

E.Hanaa gerges

Summary

This research aims to study the effect of temperature on the removal efficiency of COD, N, and P in biological treatment.

In this work, the following was done:

1- Analysis of data measured at the Al-Duwair station in Homs during various months of the year. The results showed the following:

- BOD_5 removal efficiency ranged from 78% to 91%, with the highest removal efficiency recorded at the highest average temperature of 27.2°C.
- COD removal efficiency ranged from 62% to 87%, with the highest removal efficiency recorded at the highest average temperature of 27.2°C.

2- Operation of a laboratory SBR reactor for wastewater treatment during different months of the year.

The results showed the following:

- COD removal efficiency ranged from 60% to 82%, with the highest value recorded at 27°C.
- P removal efficiency ranged from 48% to 89%, with the highest value recorded at 27°C.
- The NH4 removal efficiency ranges between (46-89)%, with the highest value recorded at a temperature of $27C^0$.

Key words: biological treatment - temperature - COD, N, P

1- مقدمة:

طبقت تقنية المعالجة البيولوجية على نطاق واسع في أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي البلدية (المنزلية) وتعد هذه التقنية المرحلة الأهم في محطات معالجة مياه الصرف الصحي، إذ تزال من خلالها 60% من سوائل الصرف الصحي، يعد تكوين مياه الصرف المنزلية أقل تقلباً من مياه الصرف الصناعي، حيث تحوي بشكل تقريبي على 50% بروتينات، 40%

كربوهيدرات، 10% دهون وزيوت وكميات ضـــئيلة من الملوثات المعدنية، وتهدف المعالجة البيولوجية لهذه المياه إلى أكســـدة تخثير وإزالة المواد الصـــلبة الغروانية الغير قابلة للترســـيب وتكســـير المواد العضـــوية وتحويلها إلى مواد غير ضـــارة. كما تســـاهم في إزالة المغذيات مثل النتروجين والفوســـفور [1]. تؤثر بعض العوامل على المعالجة البيولوجية، وتعد درجات الحرارة من العوامل الأساسية ذات التأثير، خصوصاً في المناطق الأكثر برودة أو سخونة، لذلك من الصـــعب فهم المعالجة البيولوجية المثلى عند درجات حرارة أقل من الدرجة $4C^o$ أو أكثر من الدرجة $70C^o$.

تعاني العديد من محطات معالجة الصـرف الصـحي، خاصـة تلك التي تعتمد على المعالجة البيولوجية، من تراجع كبير في كفاءة المعالجة خلال فترات انخفاض درجات الحرارة، مما يؤدي إلى تصـريف مياه غير مطابقة للمواصـفات البيئية. وعلى الرغم من إدراك أهمية هذا العامل، إلا أن هناك نقصًا في الدراسات التطبيقية التي تربط بين أداء المحطات وتغير درجات الحرارة في الســـياقات المناخية المختلفة، حيث تعتمد درجات الحرارة على المنطقة الجغرافية، لذلك يتم اختيار طريقة المعالجة البيولوجية الأكثر ملائمة لدرجات الحرارة.

تعتبر الكائنات الدقيقة مثل البكتريا والفونجي والبروتوزا والأولغا وغيرها ذات أهمية كبيرة في عمليات المعالجة البيولوجية وتؤثر درجات الحرارة بشـكل كبير على معدل نمو البكتيريا ونشـاط الأنزيمات وتنوع المجتمع الميكروبي [2].

2- هدف البحث:

الهدف من البحث دراسة تأثير درجات الحرارة على تخفيض مؤشرات التلوث (الأكسجين الكيميائي المتطلب Chemical Oxygen demand (COD) – الفوسفور Phosphor (P) –النتروجين Nitrogen (N)) وتحديد العوامل الأخرى التي تتأثر بدرجات الحرارة واقتراح الحلول التشغيلية المناسبة عند درجات الحرارة المنخفضة للحصول على كفاءة تشغيلية أعلى لمحطات المعالجة

البيولوجية العاملة بالحمأة المنشطة في ظل قلة الدراسات التي تربط بين المناخ المحلي وخصائص مياه الصرف ومدى تأثرها بالحرارة، وندرة الأبحاث التي تتناول حلولاً تشغيلية مباشرة للتعامل مع درجات الحرارة المنخفضة.

3- مواد وطرق البحث:

3-1 الدراسات المرجعية :

بينت العديد من الدراسات المرجعية على محطات المعالجة البيولوجية أنه عند درجات حرارة مثالية ($20-35C^0$) تكون عمليات التمثيل الغذائي في ذروتها ويكون هضم المواد العضوية في ذروته، حيث بينت الدراسات أن زيادة درجات الحرارة من $10C^o$ إلى $30C^o$ يزيد من كفاءة إزالة BOD_5بمقدار 30% و يزيد من كفاءة إزالة COD بمقدار 40% بينما تنخفض كفاءة إزالة المواد العضوية بشكل ملحوظ عند درجات الحرارة تحت $15C^o$ [6]. إن النتروجين الكلي يتألف من الأمونيا والنتريت والنتروجين العضوي الدقائقي والنتروجين العضوي المنحل، وتتضمن إزالة النتروجين عمليتين النترجة (Nitrification) وإزالة النترجة(Denitrification)، في عملية النترجة تتأكسد الأمونيا إلى نتريت ثم إلى نترات، وفي إزالة النترجة يتحول النترات إلى غاز النتروجين بغياب الأكسجين. وتعتبر هذه العملية من العمليات الحيوية الدقيقة التي تتطلب توازنًا في المجتمعات البكتيرية (أمونياكس، نيتروباكتر، نيتروسوموناس). وقد أثبتت الأبحاث أن هذه البكتيريا تتأثر بدرجة الحرارة حيث ينخفض معدل النترجة إلى النصف عند انخفاض درجة الحرارة من $25C^0$ إلى الدرجة $10C^0$ وما دون، كما أن درجات الحرارة المنخفضة تقلل من تنوع ووفرة البكتيريا المسؤولة عن نترجة الأمونيوم مما يؤدي إلى تراكم النيتروجين في المياه المعالجة [7]. تعتمد إزالة الفسفور على متعضيات PAO2 لخزن الفوسفور على شكل بولي فسفات داخل خلاياه في الظروف الهوائية، وتحرره في الظروف اللاهوائية، ثم تمتصه بشكل أكبر عند الظروف الهوائية. وتؤثر درجات الحرارة بشكل كبير على عمل هذه المتعضيات بالإضافة إلى زمن المكث الهيدروليكي [8].

تقلل درجات الحرارة العادية من متطلبات الأراضي وتعزز عملية التحويل وتزيد من كفاءة الإزالة وتحدد الطريقة الأفضل لاختيار نوع المعالجة البيولوجية، مثلاً في أمريكا تكون درجات الحرارة من $3C^o$ إلى $27C^o$ حسب المنطقة الجغرافية والحرارة الوسطية $15C^o$

وتصل إلى $35C^o$ في بعض الأماكن، لذلك يتم تصميم خزانات الهضم اللاهوائي فقط في المناطق ذات درجات الحرارة المرتفعة لأن البكتريا المنتجة للميتان شديدة الحساسية لدرجات الحرارة، ويعتمد تصميم هذه الخزانات على زمن التفاعل الذي يعتمد بدوره على درجات الحرارة، لذلك ينصح بأن تكون درجات الحرارة بحدود $26-65C^o$ لضمان الأداء النشغيلي الجيد لهذه المنشآت [7]. يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معامل التهوية، إذ يعتبر الأكسجين أقل قابلية للذوبان في الماء الدافئ منه في الماء البارد(Dissolved Oxygen) كما يوضح الجدول (3-1) [5]

الجدول(3-1): تأثير درجات الحرارة على تركيز DO

درجة الحرارة (C^o)	DO (mg/l)
0	14.6
5	13.1
10	11.3
15	10.1
20	9.1
25	8.2

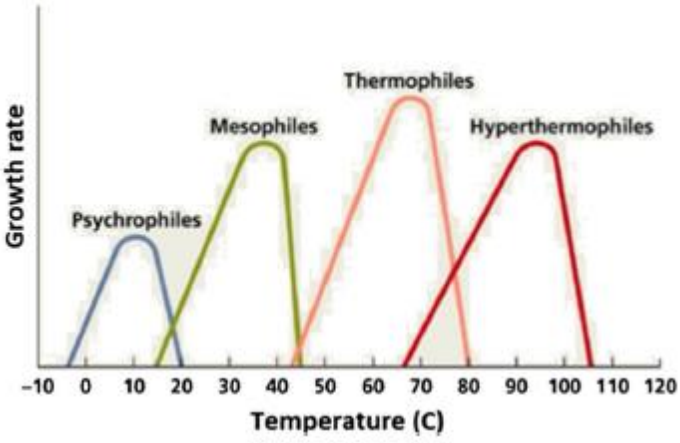
تؤثر درجات الحرارة بشكل كبير على نشاط الكائنات الحية الدقيقة التي يسهم في المعالجة البيولوجية، حيث نميز أربع أنواع من التجمعات المكروبية حسب درجة الحرارة كما يبين الشكل (3-1) [9]

1- ميزوفيل(Misophiles) $10-45C^o$

2- تيرموفيل(Thremophiles) $40-75C^o$

3- بسيكروفيل(Psychrophiles) 0-20C°

4- غيريات التغذية(Hyperthermophiles) 70-100C°



الشكل(3-1): التجمعات المكروبية حسب درجات الحرارة

3-2 تحليل بيانات مقاسة من محطة الدوير بحمص :

تقع محطة معالجة مياه الصرف الصحي إلى الشمال من مدينة حمص بالقرب من قرية الدوير وقد أنجزت الدراسة التصميمية لمحطة معالجة مياه مجاري مدينة حمص في عام 1978 م، وهي تعتمد طريقة الحمأة المنشطة الكلاسيكية، وتم إنشاؤها على مدى عشرين عاماً، و بدأ تشغيلها خلال عام 1999 م والغاية من محطة المعالجة معالجة مياه مجاري مدينة حمص ومياه معمل السكر بيولوجياً. وقد صممت المحطة لتعمل عند المعطيات التالية -**التدفقات(m3/d):**- التدفق الوسطي: 133900

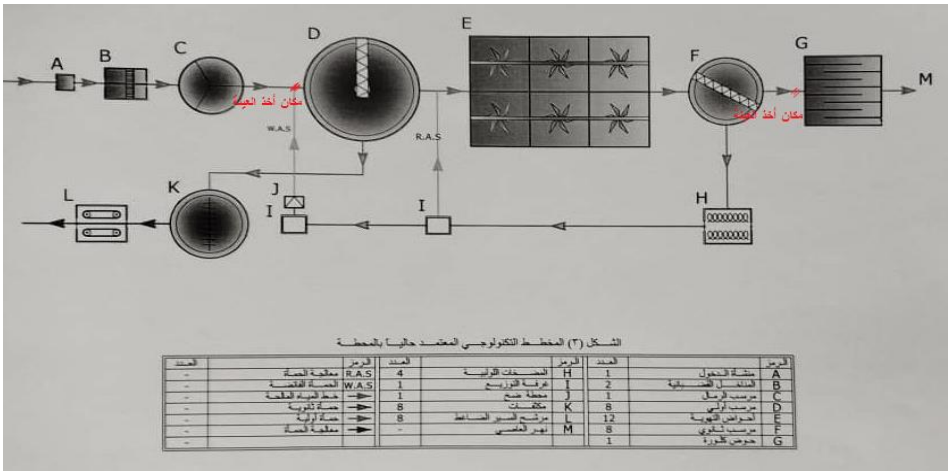
- التدفق الأعظم في الطقس الرطب 295000
- التدفق الأعظم الذي يتلقى معالجة كاملة 233000
- التدفق الأصغر 49100

التراكيز الأولية (mg/L):- الأوكسجين المستهلك بيوكيميائياً(Biological Oxygen (BOD5
507 mg/L : demand

- المواد الصلبة المعلقة(Suspend solid (SS : 512 mg/L

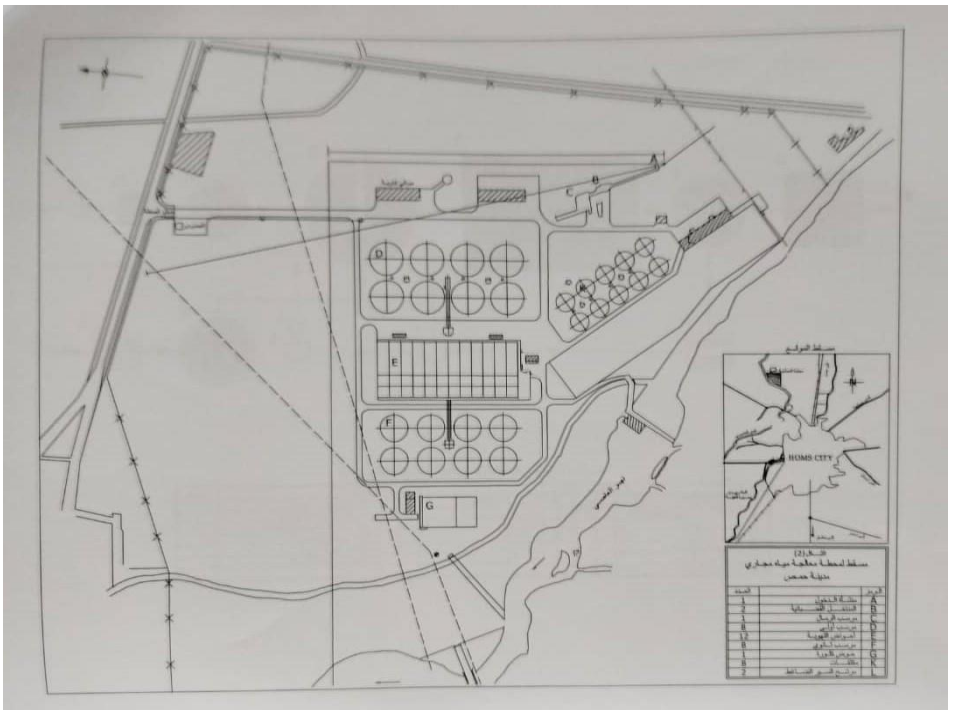
تعالج الحمأة الفائضة في محطة معالجة مياه المجاري حمص وفق التسلسل التالي:

-التغليظ في أحواض التكثيف-إزالة الماء باستخدام السيور المرشحة الضاغط-التجفيف في ساحات الحمأة. تصل مياه مجاري مدينة حمص إلى محطة المعالجة بالثقالة من ثلاث خطوط رئيسية لمياه المجاري ذات مقطع فموي حيث تدخل إلى محطة المعالجة بمجمع رئيسي واحد وأيضاً تصل المياه من منطقة الوعر بالضخ [3,4]. ويبين الشكل (3-2) المخطط التكنولوجي لعمل محطة المعالجة مبيناً عليه أماكن أخذ العينات.



الشكل (3-2): المخطط التكنولوجي لمنشآت محطة المعالجة

كما يبين الشكل (3-3) مسقط لمحطة معالجة مياه مجاري حمص.



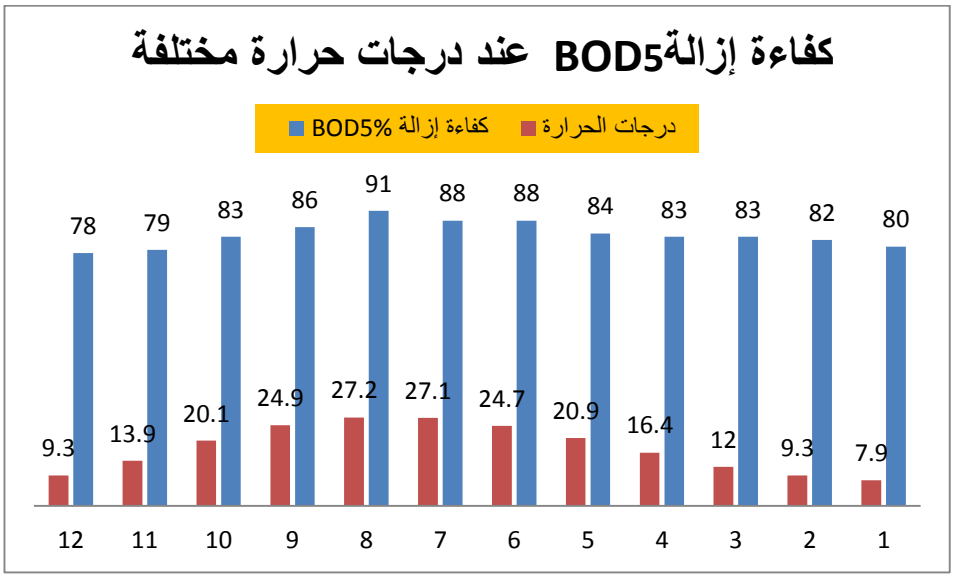
الشكل (3-3): مسقط لمحطة معالجة مياه مجاري حمص

تم الحصول على بيانات واقعية مقاسة في محطة الدوير بشكل يومي لعام 2011 ولمدة عام كامل في مختلف شهور السنة، تم أخذ مؤشرات التلوث ($CODin-BOD_5in$) للعينات الداخلة إلى حوض التهوية والمؤشرات ($CODout-BOD_5out$) للعينات الخارجة من حوض الترسيب الثانوي، كما تم الحصول على قيم لدرجات الحرارة الوسطية للعام نفسه في حمص من مركز الأرصاد الجوية ويبين الجدول (3-2) القيم الوسطية لمؤشرات التلوث لكل شهر من السنة.

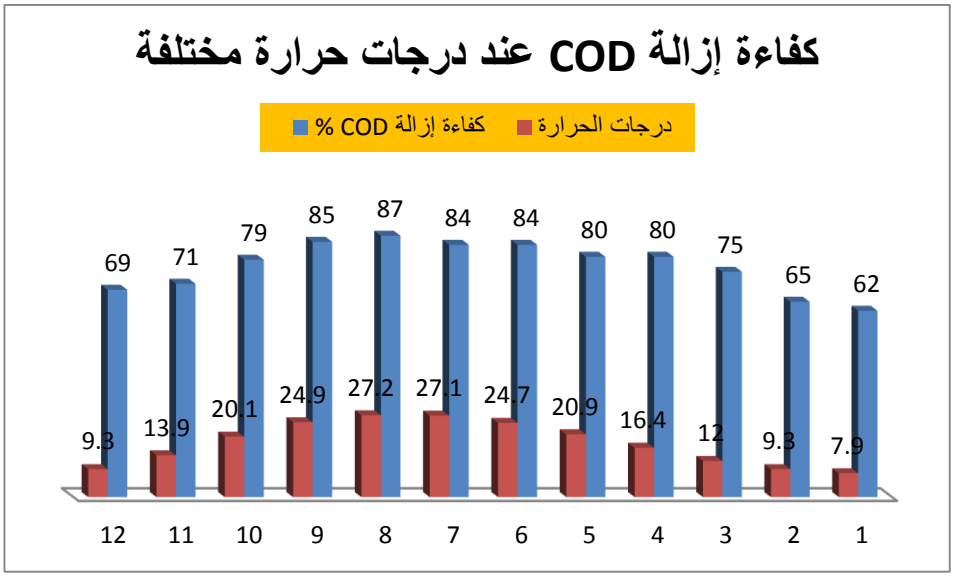
الجدول (3-2): القيم الوسطية المقاسة للملوثات في شهر من السنة

الملوث / الشهر	$(BOD_5)_{in}$	$(DOD_5)_{out}$	$(COD)_{in}$	$(COD)_{out}$	MLSS	درجة الحرارة الوسطية C°
	(mg/l)					
كانون الثاني	280	54	350	132	3150	7.9
شباط	283	50	409	141	2170	9.3
آذار	329	55	515	125	2350	12
نيسان	341	55	631	123	3730	16.4
أيار	434	69	723	141	3810	20.9
حزيران	448	52	764	117	3880	24.7
تموز	417	50	628	99	4290	27.1
آب	370	30	552	67	4410	27.2
أيلول	415	58	630	100	3500	24.9
تشرين الأول	430	70	611	125	3800	20.1
تشرين الثاني	320	65	450	130	3200	13.9
كانون الأول	325	69	455	140	3200	9.3

وتبين الأشكال(3-4) و(3-5) العلاقة بين كفاءة إزالة BOD5 و COD عند درجات حرارة مختلفة.



الشكل (3-4): كفاءة إزالة BOD5 عند درجات حرارة مختلفة.



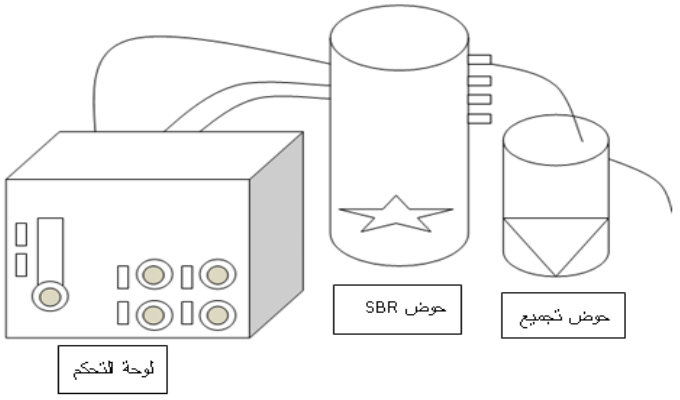
الشكل (3-5): كفاءة إزالة COD عند درجات حرارة مختلفة.

تبين النتائج أن كفاءة إزالة BOD_5 تتراوح مابين 78%إلى91% وتكون أعلى قيمة لفعالية الإزالة عند أعلى درجة حرارة وسطية مقاسة $27.2\ C^o$.

كما أن كفاءة إزالة COD تتراوح مابين 62%إلى87% وتكون أعلى قيمة لفعالية الإزالة عند أعلى درجة حرارة وسطية مقاسة $27.2C^o$.

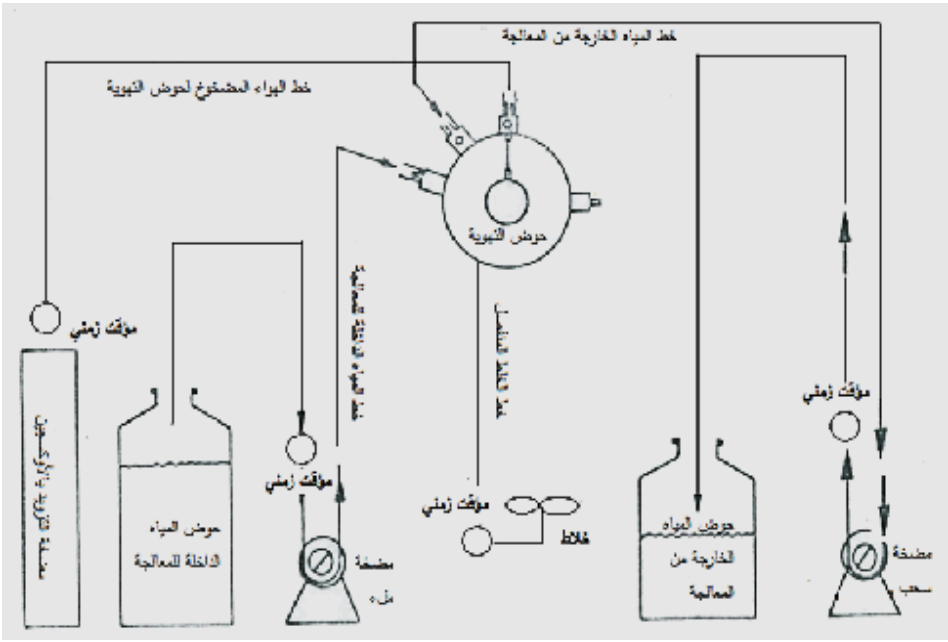
3-3 نتائج العمل المخبري:

تم العمل على وحدة معالجة بيولوجية مخبرية تتألف من حوض (Sequencing Batch (SBR Reactor بحجم 10 L تتم تهوية الحوض من خلال أنابيب مثقبة متوضعة في أسفل الحوض، كما تم تزويده بخلاط لتأمين عملية الخلط في الطور منقوص الأكسجين، يتم إدخال المياه إلى الحوض من خلال مضخة السحب، ويتم تفريغ المياه المعالجة بواسطة مضخة تفريغ إلى حوض تجميع، ترتبط كل مضخة بمؤقت زمني خاص، وكذلك مضخة التهوية والخلاط، ويبين الشكل (3-6) أقسام المفاعل المخبري



الشكل (3-6): أقسام المفاعل المخبري

كما يبين الشكل (3-7) المخطط التكنولوجي لعمل المفاعل، تحوي وحدة المعالجة على لوحة تحكم يمكن من خلالها التحكم بزمن السحب والتهوية والخلط والتفريغ.



الشكل (3–7): المخطط التكنولوجي لعمل المفاعل

ويبين الشكل (3–8) لوحة التحكم الخاصة بوحدة المعالجة، والشكل(3–9) صورة المفاعل أثناء العمل.

الشكل (3-8): لوحة التحكم الخاصة بوحدة المعالجة

الشكل(3-9): صورة المفاعل أثناء العمل

تم وضع 3L من الحمأة المنشطة (مأخوذة من محطة المعالجة في الدوير) في حوض الـ SBR مع 3L من مياه الصرف الصحي (من محطة الدوير أو من مجرور الشماس المار ضمن جامعة حمص)، ثم تعريضها لتعاقب الأطوار (لاهوائي- هوائي- منقوص الأكسجين) كما يبين الجدول (3-3) لتحقيق أفضل كفاءة لإزالة المواد العضوية والمغذيات [6].

الجدول (3-3): زمن الأطوار اللازم لتشغيل المفاعل

الطور	ملء	لاهوائي	هوائي	منقوص الأكسجين	سحب
الزمن (ساعة)	0.5	2	4	1	0.5

ثم إضافة 4L من مياه الصرف الصحي المراد معالجتها إلى الحوض بحيث يتم الحفاظ على 6L (مزيج الحمأة ومياه الصرف المدروسة) ضمن حوض الـ SBR والعمل على سحب الـ 4L المضافة

في نهاية كل دورة خلال زمن سحب ساكن (0.5h)، ويتم تجميع المياه الناتجة عن المعالجة في حوض تجميع.

في الطور اللاهوائي يتم إيقاف التهوية والخلط، وفي الطور منقوص الأكسجين يتم إيقاف التهوية فقط. يتم تشغيل وحدة المعالجة التجريبية لمدة أسبوع عند بدء التشغيل قبل إجراء التجارب على المياه المعالجة حتى تتأقلم الحمأة مع مياه الصرف ضمن ظروف المخبر.

البارامترات المقاسة:

– NH_4 – P– COD– درجة الحرارة الوسطية

الأجهزة المستخدمة:

– حاضنة قياس COD – مقياس الطيف الضوئي المرئي

– كاشف الفوسفات– كاشف النترات

ويبين الشكل (3–10) العينات قبل المعالجة، والشكل(3–11) العينات بعد المعالجة

الشكل (3–10): العينات قبل المعالجة

الشكل(3–11): العينات بعد المعالجة

كما يبين الشكل (3–12) مياه الصرف المخلوطة مع الحمأة أثناء عمل المفاعل.

الشكل (3-12): مياه الصرف المخلوطة مع الحمأة أثناء عمل المفاعل

وتبين الأشـــكال (3-13) و(3-14) حاضـــنة COD وجهاز قياس الطيف الضـــوئي.

الشكل (3-13): حاضنة COD

الشكل (3-14): جهاز قياس الطيف الضوئي

تم قياس (COD- P- NH4) قبل وبعد المعالجة ضمن المفاعل المخبري في شهور مختلفة من السنة ضمن درجات حرارة متفاوتة، وأعطت التجارب النتائج المبينة في الجدول(3-4).

الجدول(3-4): القيم المقاسة COD- P- NH4 قبل وبعد المعالجة

الشهر	درجة الحرارة C^0 الوسطية	COD_{in} / COD_{out}	P_{in} / P_{out}	$NH4_{in}$ / $NH4_{out}$
حزيران تموز	27	550 / 121	30.6 / 3.5	32.8 / 3.9
		450 / 90	29.9 / 4.1	34.4 / 3.6
		580 / 100	31.9 / 3.5	30.2 / 3.2
		430	14.6	28.8

أيلول	20	111	3.6	12
		336	12.2	36
		90	3.2	13
		298	14.6	30.2
		90	4.1	3.2
تشرين 1	13	290	15.5	28
		111	5.5	15
تشرين 2		282	13.7	28
		110	6.5	15
		266	13.7	36
		100	6	18

تم حساب كفاءة الإزالة لكل من (COD– P– NH4) عند درجات الحرارة الوسطية، وأعطت الحسابات النتائج المبينة في الجدول(3–5).

الجدول(3–5): كفاءة إزالة NH4 –P –COD عند درجات حرارة مختلفة

درجة الحرارة C^0	كفاء إزالة COD %	كفاء إزالة P %	كفاء إزالة NH4 %
27	78	88	88
	80	86	89
	82	89	89
20	74	75	61
	73	73	64
	70	71	65

13	62	48	46
	60	52	46
	60	56	50

نلاحظ من الجدول السابق (3-5) مايلي:

- أن كفاءة إزالة COD تتراوح ما بين (82-60)% حيث بلغت أعلى قيمة عند درجة حرارة $27C^0$.
- أن كفاءة إزالة P تتراوح ما بين (89-48)% حيث بلغت أعلى قيمة عند درجة حرارة $27C^0$.
- أن كفاءة إزالة NH4 تتراوح ما بين (89-46)% حيث بلغت أعلى قيمة عند درجة حرارة $27C^0$.

4- النتائج ومناقشتها:

- تبين النتائج الفعلية المأخوذة من محطة الدوير خلال أشهر السنة أن أعلى قيمة لكفاءة إزالة BOD_5 بلغت 91% كما أن أعلى قيمة لكفاءة إزالة COD بلغت 87% عند أعلى درجة حرارة وسطية مقاسة C^o 27.2. وبالرغم من ذلك فقد حققت المحطة كفاءة إزالة جيدة للملوثات العضوية في أشهر الشتاء:
  - كفاءة إزالة BOD_5 تتراوح مابين 79% إلى 82%
  - كما أن كفاءة إزالة COD تتراوح مابين 62% إلى 71%

  وذلك بسبب زيادة زمن المكوث.
- تبين النتائج المقاسة على المياه المعالجة ضمن المفاعل المخبري خلال أشهر مختلفة السنة أن أعلى قيمة لكفاءة إزالة COD بلغت 82%، وأعلى قيمة لكفاءة إزالة P بلغت 89%، وكذلك أعلى قيمة لكفاءة إزالة NH4 بلغت 89% عند أعلى درجة حرارة وسطية مقاسة C^o 27 .

نلاحظ ازدياد كفاءة المعالجة مع ازدياد درجات الحرارة، ويرجع السبب إلى نشاط بكتريا الميزوفيل التي تبلغ أوجها عند درجات الحرارة ($25-35\ C^0$)، وتلعب دوراً رئيسياً في عمليات المعالجة الهوائية [6].

كما نلاحظ تناقص كفاءة الإزالة مع انخفاض درجات الحرارة لأن معدل النمو الأقصى للبكتيريا ينخفض عند درجات حرارة منخفضة أقل من (15°C) وتتراجع فعالية الإنزيمات المشاركة في التحلل الحيوي ببطء في درجات الحرارة المنخفضة [10].

5- الاستنتاجات والتوصيات:

- تؤثر درجات الحرارة بشـــكل كبير في عمليات المعالجة البيولوجية، وهناك صـــعوبة كبيرة في التحكم في درجات الحرارة في المحطات العاملة لذلك لابد من زيادة الأبحاث العملية التي تدرس تأثير درجات الحرارة على أنظمة المعالجة في الظروف المحلية.
- تتأثر الأحياء الدقيقة التي تقوم بإزالة الملوثات في أنظمة المعالجة البيولوجية بشـــكل كبير بدرجات الحرارة، لذلك لابد من زيادة الموارد اللازمة لدراســة و تحليل البكتريا الدقيقة وتفاعلاتها تحت المجهر.
- دراسة تأثير درجات الحرارة على خصائص الحمأة وترسيبها.
- دراسة تأثير درجات الحرارة على SS وMLSS
- إن الأنظمة العاملة تحتاج إلى تكييف تشـغيلي عند درجات الحرارة المنخفضــة مثل زيادة زمن المكوث أو عزل الخزانات، أو تعديل ضخ الهواء أو سرعة المضخات حسب درجات الحرارة.

المراجع العربية:

1- د.ميخائيل، جوزيف، د. زكية، رصين، محطات معالجة مياه المجاري/جامعة حمص /2002-2001

2- د. زكية، رصين، ميكروبولوجيا المياه/جامعة حمص 2009-2010/

3- د. عجيب، نعيمة: أسس تصميم محطات المعالجة /محاضرة علمية 2020/

4- محطة المعالجة في الدوير

المراجع الأجنبية:

5- Metcalf & Eddy. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5th Edition.

6- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2012). Environmental Biotechnology: Principles and Applications

7- Zhang, Y., Li, J., & Wang, Z. (2023). Effect of Temperature on Domestic Wastewater Treatment. Journal of Environmental Management, 325, 116469.

8- Springer Nature. (2021). Seasonal Impact of Temperature on Wastewater Treatment Performance. Water Science and Technology, 83(6), 1257-1268.

9- Alisawi, H. A. O. et al. (2020). Performance of wastewater treatment during variable temperature conditions: a review.

10- Tejaswini, E. et al. (2020). Effect of Temperature on Effluent Quality in a Biological Activated Sludge Process.