مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (17) العدد (3) 1995
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (17) No (3) 1995

تكنولوجيا متطورة لمعالجة مياه الصرف الصناعية الناتجة عن الصناعات الغلفانية

الدكتور حسام صبوح*

❐ الملخص ❐

يحتل وضع المخطط السليم لمعالجة مياه الصرف الصناعية أهمية بالغة قبل إلقائها في المصادر المائية وذلك لخطورتها العالية بفعل ملوثاتها السامة.

يتناول البحث مياه الصرف الناجمة عن الصناعات الغلفانية والحاوية على شوارد الكروم السداسي (Cr^{6+}) كملوث رئيسي.

يستعرض البحث الطرق التكنولوجية المختلفة في مجال معالجة مياه الصرف الصناعية الناتجة عن الصناعات الغلفانية ويركز على الطريقة التي قد تكون أكثر تطورا وهي التخثير الكهربائي، كما يشمل البحث اختبار نموذجين اساسيين من هذه المخثرات (أفقيا وعموديا).

وإتمام عملية المعالجة تم تمرير تيار المياه الخاضعة للمعالجة عبر حجرتين متتاليتين للترسيب والترشيح.

لقد بلغت كفاءة المعالجة بهذه الطريقة نسبة (100٪) وهذا يضي أن اتباع الطريقة المعروضة في البحث يسمح بإعادة استخدام المياه بعد معالجتها في ورشات الصناعات الغلفانية.

* مدرس في قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (17) العدد (3) 1995
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (17) No (3) 1995

New Technology for Industrial Waste Water Treatment (Galvanic Industry)

Dr. Hussam SABOUH*

ABSTRACT

It is very important to make correct plans for industrial waste waters treatment before throwing them in water resources, because of their dangerous effects.

The research studies the galvanic industrial wast waters, which contain chrome ions (Cr^{6+}) as main pollutants.

After studying various technologies related to industrial waste water treatment, we found that the electrochemical coagulation treatment is one of the most progressive and echonomical methods. The research shows many kinds of electrocoagulators (horizontal and vertical).

To complete the process of treatment, the electrocoagulators, at the same time, work with sedimentation-plate basins and filters.

The accuracy of electrochemical coagulation treatment is 100%. And it allows us to use water reusing cycle in Galvanic industry.

*Lecturer at Environmental Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تقسم مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الغلفانية تبعا لنوعية ملوثاتها إلى عدة أنواع، فمنها المياه الحامضية أو القلوية ومنها أيضا المياه الحاوية على شوارد معدنية مختلفة كالسيانيد أو الفلور أو الكروم أو غيرها. هذا وتعتبر شوارد المعادن الثقيلة من أهم الملوثات التي تحملها مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الغلفانية، وكما هو معلوم فإن التأثير المديد لشوارد الكروم السداسي (Cr^{6+}) على أجهزة الإنسان تؤدي إلى منعكسات سلبية لديه تتجلى بالسمية العامة وفرط التحسس وغيرها من الأمراض الخطيرة. ومن الضروري الإشارة هنا إلى أن التركيز الحدي المسموح لشوارد الكروم سداسي التكافؤ (Cr^{6+}) في المصادر المائية المستخدمة للتزويد بمياه الشرب يجب ألا يتجاوز حدا مقداره (0.1mg/l).

يتعلق اختيار طريقة معالجة هذا النوع من مياه الصرف الصناعية بعدة أمور أهمها:

آ- تركيب ونظام تدفق هذه المياه.

ب- تركيز الملوثات في المياه القادمة للمعالجة.

جـ- ضرورة وإمكانية الاستخدام المتكرر للمياه بعد المعالجة.

لقد شهدت معالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الغلفانية استخدام الطرق الكيميائية في المعالجة والتي تقسم إلى مرحلتين:[1]

آ- المرحلة الأولى: وتتمثل بإرجاع الكروم سداسي التكافؤ إلى كروم ثلاثي التكافؤ.

ب- المرحلة الثانية: وتتجلى بترسيب الكروم الثلاثي على هيئة هيدروكسيدات (أكاسيد مائية).

ويعد من أبرز مساوئ هذه الطرق ما يلي:

1- ازدياد تركيز الأملاح في المياه المعالجة مما يحول دون استخدامها ثانية في عملية الإنتاج.
2- الاستهلاك الكبير للمواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة.
3- تشكل كميات زائدة من الرواسب التي يصعب الاستفادة منها.

إلا أن السنوات الأخيرة شهدت استخدام التيار الكهربائي كإحدى الطرق المتبعة في معالجة المياه الناتجة عن الصناعات الغلفانية وقد تمثل ذلك بالتخثير الكهربائي والتعويم (التطويف) الكهربائي إلى جانب التحليل الكهربائي وغيره.

ولعل أكثر الطرق تفاؤلا في مجال معالجة هذا النوع من مياه الصرف الصناعية وتخلصيها من شوارد الكروم هي الطريقة الكهروكيميائية التي تعتمد على استخدام إلكترودات فولاذية والتي تتميز ببساطتها وبصغر المساحة اللازمة لإقامتها

وهذا الأمر يكتسب أهمية خاصة عند إعادة تنظيم وتوسيع المنشآت الصناعية.[2]

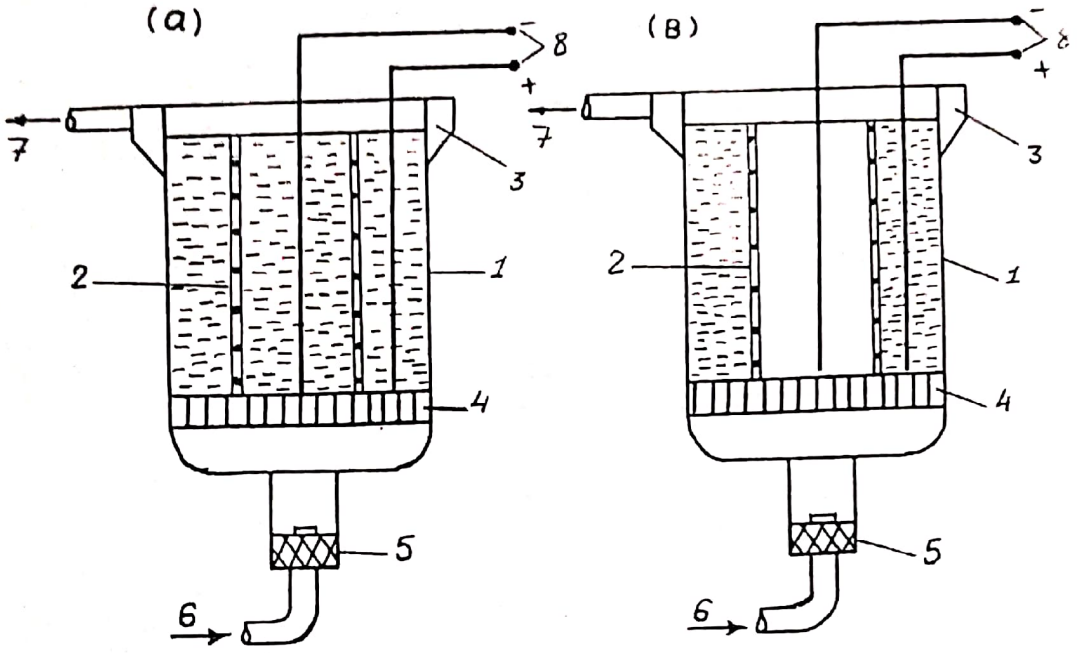
عند استخدام طريقة التخثير الكهربائي تتم عملية استرجاع شوارد الكروم السداسي (Cr^{6+}) بشوارد (Fe^{2+}) المتشكلة نتيجة لذوبان المصاعد بفعل عملية التحليل الكهربائي لها، كما يتم إرجاع شوارد (Cr^{6+}) بوساطة ماءات الحديدي $Fe(OH)_2$ المتشكلة داخل المياه المعالجة نتيجة لتفاعل شاردتي الحديد (Fe^{2+}) والماءات $(OH)^-$ عندما تكون pH≥5.5.[5، 2]

من الضروري الإشارة هنا إلى أن كمية الكهرباء المستهلكة لاسترجاع شوارد الكروم السداسي إلى شوارد ثلاثية التكافؤ تتعلق بدرجة كبيرة بقيمة (pH)، حيث ترتبطان مع بعضهما بعلاقة طردية. وانطلاقا من هذا فإنه يمكن الاستعانة بالمياه الحامضية لتخفيض قيمة (pH) في المياه المعالجة وذلك للإقلال من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة.[6، 3، 1]

نشير هنا إلى أنه من المفضل استخدام طريقة التخثير الكهربائي عندما لا يزيد تركيز شوارد الكروم السداسي (Cr^{6+}) في المياه الملوثة عن (150mg/l)، ذلك لأن التراكيز الأعلى من ذلك تؤدي إلى زيادة الاستهلاك النوعي للمعدن المستخدم في المصاعد وكذلك ازدياد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة أيضا.[7، 4]

نظرا لتدهور الأحوال البيئية لمعظم المصادر المائية فقد توجهت جميع المصانع والشركات إلى اتباع نظام الدورات (الحلقات) المغلقة لاستخدام المياه والتي تحد من إلقاء مياه الصرف الصناعية في المصادر المائية المجاورة. وفي هذا المضمار فقد قمنا بإعداد مخطط لعملية معالجة مياه الصرف الصناعية والذي يتمثل بحلقة مغلقة لاستخدام المياه من أجل الحاجات التكنولوجية في المنشآت الصناعية.

بغية تبرير استخدام طريقة التخثير الكهربائي من وجهة نظر اقتصادية فقد قمنا باستخدام مخثرات كهربائية مزودة بإلكترودات مؤلفة من نفايات الصناعة نفسها كبرادة الحديد مثلا. لقد شملت الدراسة اختبار نماذج مختلفة من المخثرات الكهربائية وهنا سنورد نموذجين اثنين فقط هما المخثرات الكهربائية العمودية والمخثرات الأفقية متعددة الحجر، ولقد كانت الغاية من ذلك كله هو تحديد الشكل والنموذج الأمثل للمخثر الكهربائي الواجب استعماله وكذلك اختيار العملية الأكثر ملاءمة من وجهة نظر تكنولوجية.



الشكل (1): المخثر الكهربائي العمودي

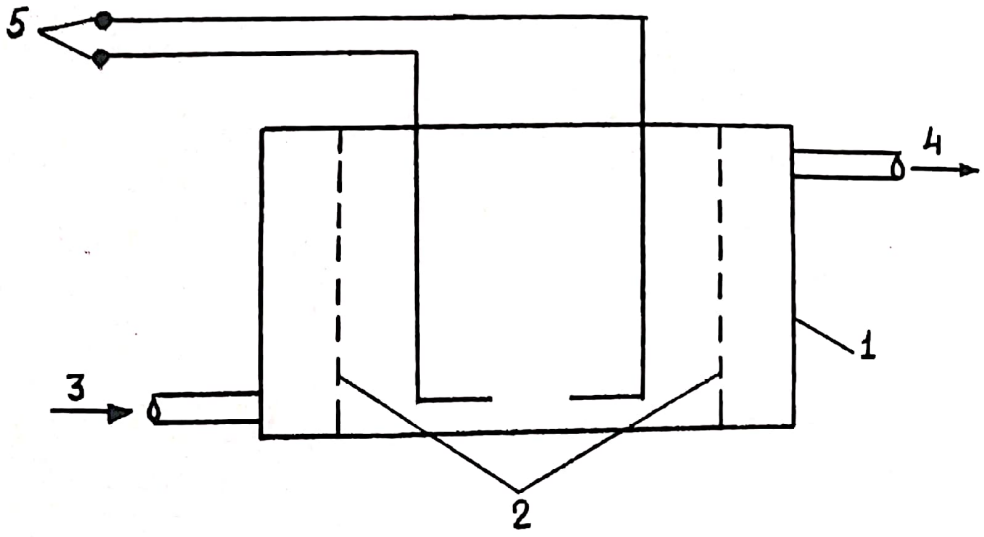
1- الحوض الخارجي ذي الحشوة المؤلفة من البرادة المعدنية، 2- الحوض الداخلي ذي الجدران المثقبة والحشوة المؤلفة من البرادة المعدنية، 3- قناة محيطية حلقية، 4- قاع مثقب، 5- سدادة تثبيت أنبوبة الدخول، 6- أنبوبة دخول المياه المعالجة، 7- أنبوبة تصريف، 8- إلكترودات مؤلفة من قضبان فولاذية.

يتألف المخثر الكهربائي العمودي من اسطوانتين تثبت إحداهما داخل الأخرى وذلك كما هو مبين على الشكل رقم (1)، أما الأسطوانة الداخلية فهي عبارة عن كأس مصنوعة من مادة بلاستيكية مثقبة على كامل محيطها حيث تتوضع هذه الثقوب بشكل شطرنجي وتقوم بإمرار تيار المياه المعالجة عبر جسم المخثر الكهربائي، كما تتوضع الكأس الداخلية على قاع مثقب في أسفل المخثر الكهربائي، أما القسم السفلي من المخثر فيتألف من جذع مخروطي بزاوية توسع قدرها 60°.

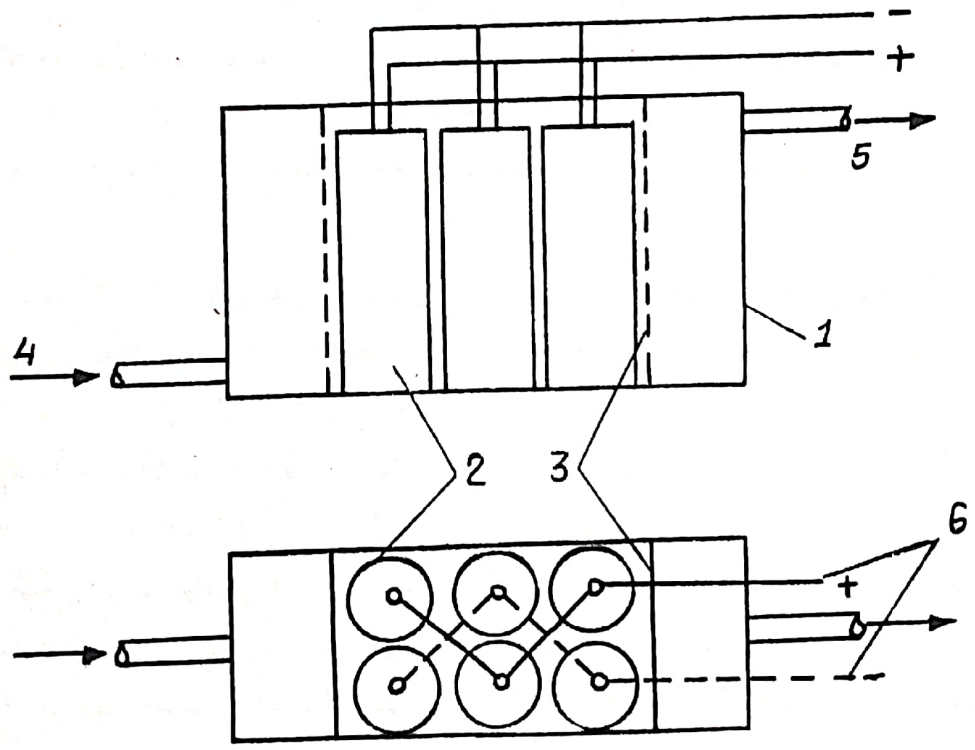
يتلخص سير حركة المياه المعالجة في هذا النوع من المخثرات الكهربائية بأنها تضخ عبر الجزء السفلي (المخروطي) للمخثر لتجمع في الأعلى بواسطة قناة دائرية وتخرج منه بواسطة هدار إلى أنبوب يقودها إلى خزان لاحق.

لقد شملت دراسة المخثرات الكهربائية العمودية اختبار نموذجين أساسيين منها، إذ يتألف النموذج الأول من مصعد ومهبط مكونين من البرادة الفولاذية المعبأة في أسطوانات خاصة ومزودة بإلكترودات فولاذية بقطر (10mm) وهذا ما يبينه الشكل (1-a) أما الشكل (1-B) فيمثل النموذج الثاني الذي يختلف عن سابقه بأن المصعد فيه عبارة عن أسطوانة مملوءة بالبرادة الفولاذية، أما المهبط فهو عبارة عن قضيب معدني مصنوع من خليطة من الرصاص والقصدير وبقطر (10mm) ومتوضع داخل أسطوانة وسطية مثقبة.

(a)



(B)



الشكل (2): المخثر الكهربائي الأفقي متعدد الحجر

النموذج a: 1- خزان مستطيل الشكل، 2- حواجز مثقبة، 3- أنبوبة دخول المياه إلى الحوض، 4- أنبوبة تصريف المياه من الحوض، 5- قضبان فولاذية-إلكترودات.

النموذج B: 1- خزان مستطيل الشكل، 2- كؤوس أسطوانية مصنوعة من البلاستيك ومملوءة بالبرادة الفولاذية، 3- حواجز مثقبة، 4- أنبوبة دخول المياه إلى المخثر، 5- أنبوبة تصريف المياه من المخثر، 6- قضبان فولاذية-إلكترودات.

أما النموذج الثاني من المخثرات الكهربائية والتي تم اختبارها فهو المخثر الكهربائي الأفقي المتعدد الحجر والمبين على الشكل رقم (2).

يتألف المخثر بشكل عام من حوض أفقي مزود بحاجزين أحدهما في بداية الحوض (عند مدخل المياه) والثاني في نهايته (قرب مخرج المياه المعالجة من الحوض)، أما المياه المعالجة فيتم ضخها عبر وصلة أنبوبية متوضعة في الجزء السفلي من الحوض.

وكما هو الحال عند دراسة المخثرات الكهربائية العمودية فإنه تم اختبار نموذجين للمخثرات الكهربائية الأفقية متعددة الحجر. يوضح الشكل رقم (2-a) النموذج الأول منها وهو يحتوي فيما بين الحاجزين المثقبين على إلكترودين غير قابلين للذوبان ومصنوعين من خليطة من الرصاص والقصدير وهما يمثلان المصعد والمهبط. أما الشكل رقم (2-B) فيمثل النموذج الثاني والذي تمت دراسته لهذا النوع من المخثرات الكهربائية وهو يحتوي على صفين من الحجر إذ يحتوي كل منهما على ثلاث حجر متوضعة فيما بين الحاجزين المثقبين. أما الحجرة فهي عبارة عن كأس أو أسطوانة بلاستيكية مثقبة الجدران بشكل شطرنجي وقد تم إملاء الأسطوانات الست بالبرادة الفولاذية وزودت في وسطها بإلكترودات مؤلفة من قضبان فولاذية بقطر (10mm).

لقد تم اختبار أنواع المخثرات الكهربائية العمودية والأفقية بنماذجها المختلفة باستخدام مياه صرف صناعية ناتجة عن ورشة الغلفنة في أحد مصانع الأدوات والتجهيزات الصحية للمباني وقد كانت مواصفات هذه المياه خلال فترة الاختبار ممثلة وسطيا بالقيم التالية:

- درجة الحرارة: 15-33°C.
- درجة الحموضة: pH = 5-8.
- تركيز الكروم السداسي (Cr^{6+}): 34-75mg/l.
- تركيز النيكل في مياه الصرف قبل المعالجة: 0.2-0.15mg/l.
- تركيز النحاس في مياه الصرف قبل المعالجة 0.01-0.2mg/l.

أما توتر التيار الكهربائي المار عبر المخثرات المدروسة فكان في حدود (24-60V) وشدته (قوته) في المجال (2-20A).

لقد حددت درجة تصفية مياه الصرف الصناعية في هذه المخثرات بالعلاقة التالية:

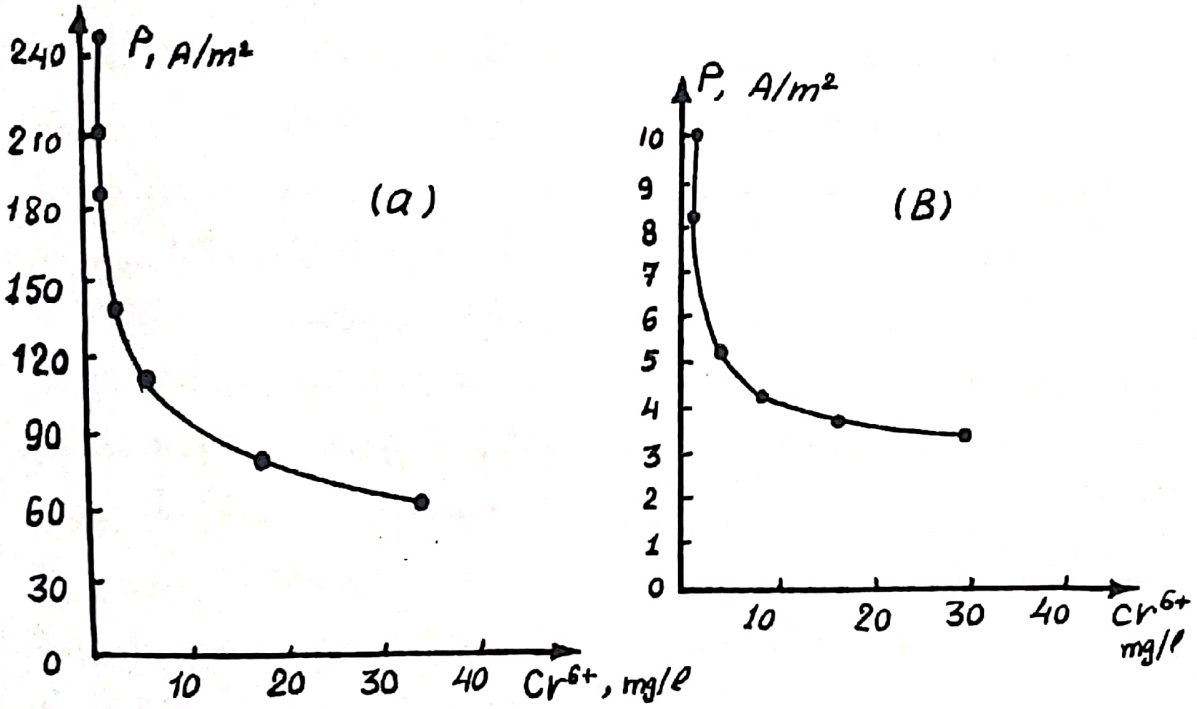
$$C = \frac{C_0 - C_s}{C_0} \times 100\%$$

حيث C_0: تركيز شوارد الكروم سداسي التكافؤ (Cr^{6+}) في مياه الصرف الداخلة إلى المخثرات.

C_S: تركيز شوارد الكروم سداسي التكافؤ (Cr^{6+}) في مياه الصرف بعد خروجها من المخثرات.

وقد بلغت درجة التصفية نسبة 100% في غالب الأحيان، مع العلم أنه سجلت بعض الحالات التي تدنت فيها هذه النسبة لتصل حدا قدره 48% فقط بالنسبة للمخثرات العمودية و40.7% بالنسبة للمخثرات الأفقية متعددة الحجر ولعل الجدولان (1) و(2) يبينان على التوالي نتائج اختبار المخثرات الكهربائية العمودية والأفقية متعددة الحجر.

لقد سمحت نتائج التجارب بالتوصل إلى رسم منحنيات تمثل العلاقة بين عملية استرجاع الكروم السداسي إلى ثلاثي وكثافة التيار الكهربائي وهذا ما يبينه الشكلان 3-(a و3-B) بالنسبة للمخثرين العمودي والأفقي المدروسين على التوالي.



الشكل (3): التمثيل البياني ما بين كثافة التيار الكهربائي ودرجة استرجاع الكروم السداسي إلى ثلاثي وذلك للمخثر العمودي (a) والأفقي متعدد الحجر (B).

كما أثبتت هذه النتائج وجود علاقة وثيقة بين قيمة (pH) للمياه المعالجة ودرجة ذوبان البرادة الحديدية عند المصعد وهذا ما يبينه الشكلان (4-a) و(4-B) اللاحقان، والعائدان لنموذجي المخثرين العمودي والأفقي متعدد الحجر، وقد تراوحت قيمة (pH) المثالية في تجاربنا ضمن حدود (6-7.5).

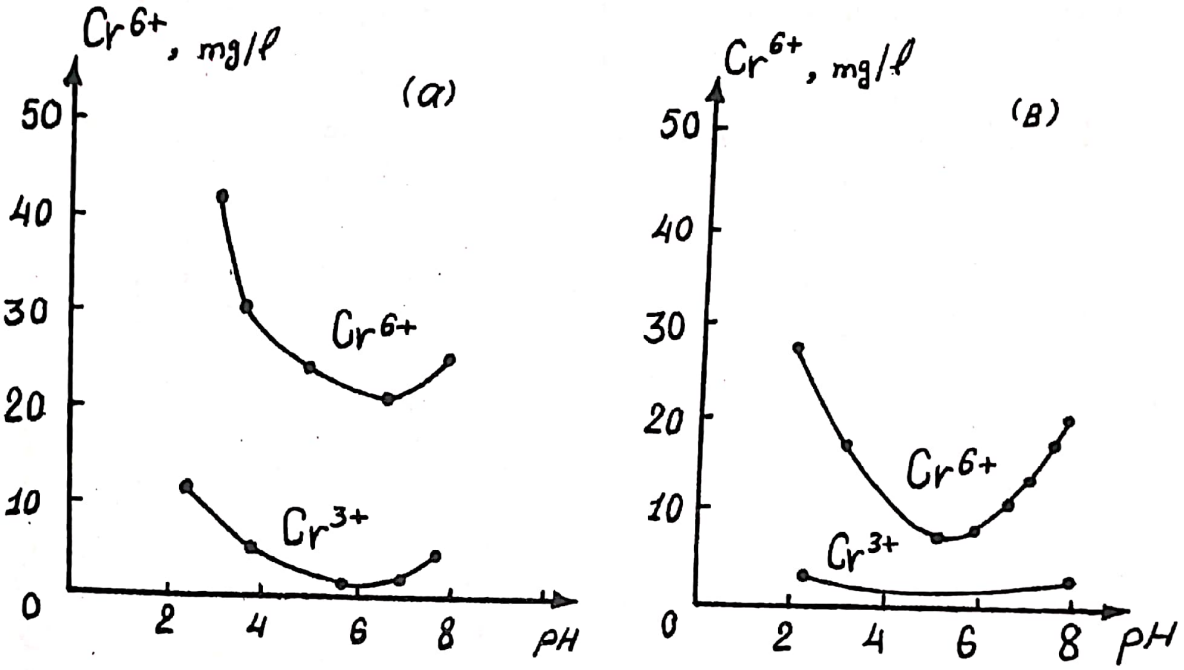
لقد تم خلال سير التجارب وفي أوقات مختلفة (حسب الحاجة) غسل المخثرات الكهربائية بتيار مائي معاكس كما قمنا باستبدال المخثرات المؤلفة من برادة الحديد بعد تآكلها بحشوة جديدة. هذا وقد لاحظنا وجود كمية كبيرة من الرواسب المؤلفة من أكاسيد الحديد المائية (هيدروكسيدات الحديد) على المصبعات الحاملة للحشوة وكذلك في القسم السفلي المخروطي الشكل من المخثر.

الجدول (1): نتائج اختبار المخثر الكهربائي العمودي

تركيز شوارد الكروم السداسي في مياه الصرف (mg/l)		كثافة التيار الكهربائي	قوة أو شدة التيار الكهربائي	قيمة توتر التيار الكهربائي	زمن مكث المياه في المخثر	سرعة حركة المياه	مساحة المقطع الحي للمخثر	غزارة مياه الصرف المارة عبر المخثر	درجة الحموضة	درجة حرارة مياه الصرف الصناعية	استمرارية (فترة) اختبار المخثر
بعد المخثر	قبل المخثر	(A/m^2)	(A)	(V)	(sec)	(m/sec)	(m^2)	(l/sec)	(pH)	($^{\circ}C$)	(min)
0	65	250	11	40	205.9	0.00068	0.044	0.030	5.5	15	
0		113.6	5	42	245.6	0.00057	0.044	0.025	7.5	32	180
0		5.7	0.25	55	233.3	0.00060	0.044	0.27	6.2	23	65
0		136.4	6	55	2000.0	0.00070	0.044	0.030	508	31	120
0	60	45.5	2	60	200.0	0.00070	0.044	0.031	5.5	17	120
0		45.5	2	60	186.7	0.00075	0.044	0.033		18	105
0		90.9	4	60	175.0	0.00080	0.044	0.036		22	210
0		90.9	4	60	153.8	0.00091	0.044	0.040		32	130
0		9.1	0.4	60	453.8	0.00091	0.044	0.040	6.5	21	125
0		9.1	0.4	60	186.7	0.00075	0.044	0.033	5.5	21	160
0		227.3	10	61	245.6	0.00057	0.044	0.025	5.5	25	
0		181.8	8	60	200.0	0.00070	0.044	0.030		22	
24	65	170.5	7.5	60			0.044		5.6	27	
22	58	204.5	9	60			0.044		5.5	29	120

الجدول (2): نتائج اختبار المخثر الكهربائي الأفقي متعدد الحجر

استمرارية (فترة) اختبار المخثر	درجة حرارة مياه الصرف الصناعية	درجة الحموضة	غزارة مياه الصرف المارة عبر المخثر	مساحة المقطع الحي للمخثر	سرعة حركة المياه	زمن مكث المياه في المخثر	قيمة توتر التيار الكهربائي	قوة أو شدة التيار الكهربائي	كثافة التيار الكهربائي	تركيز شوارد الكروم السداسي في مياه الصرف (mg/l)	
(min)	($^{\circ}$C)	(pH)	(l/sec)	(m^2)	(m/sec)	(sec)	(V)	(A)	(A/m^2)	قبل المخثر	بعد المخثر
	17	5.5		0.797			40	11	13.8	65	0
	16	5.5		0.797			40	11	14.8	75	0
180	17	6.5	0.2	0.797	0.00025	540	24	10	12.5	50	0
			0.02	0.797	0.00003	4500	25	20	25.1		0
200			0.003	0.797	0.000004	32926	33	12	12.06		0
150		6.5	0.2	0.797	0.00025	540	36	10	12.5		0
120		6.5	0.2	0.797	0.00025	540	36	12	15.1		0
180		6.5	0.2	0.797	0.00025	540	42	6	7.5		0
180			0.2	0.797	0.00025	540	40	15	18.8		0
	32	7.5	0.24	0.797	0.00003	4500	47	5	6.3	50	0
120	32	6.5		0.797			50	5	6.27		0
150	3.1	5.8	0.025	0.797	0.00003	4500	55	6	7.5		0
120	20	6.5	0.2	0.797	0.0025	540	58	19	23.8		0
180	33	6.5		0.797			60	8	10.0	34	7.5
180	28	6.3		0.797			60	4	5.0	40.5	0



الشكل (4): التمثيل البياني ما بين قيمة (pH) في المياه المعالجة وشدة نوبان البرادة الحديدية عند المصعد.

إن دراسة وتحليل آلية عمل البرادة الفولاذية المستخدمة في المخثر الكهربائي العمودي بينت أن ذوبانها عند المصعد يتم بشكل فعال وأن الاستهلاك الفعلي للحديد المستخدم كحشوة هو أقل من القيمة النظرية المحسوبة وذلك في حدود (1.2-1.5) مرة، وهذا يعود إلى أن البرادة الفولاذية تتمتع بسطح نشيط، إلى جانب إمكانية حصول التخثر التماسي في المسامات الكائنة في جسم الحشوة وذلك مع الذرات المتساقطة من هيدروكسيد الحديد.

نشير أخيرا إلى أن استعمال البرادة الفولاذية في المخثرات الكهربائية العمودية كان أكثر فعالية عند تبليلها وغسلها المسبق بمياه نظيفة وذلك قبل بدء دورة عمل جهاز المعالجة وكذلك مع ارتفاع درجة حرارة مياه الصرف الناتجة عن ورشة الغلفنة. أما السبب الأساسي لعدم حصول الذوبان الكلي للبرادة الفولاذية عند المصعد فيعود إلى الدور الذي تلعبه ندف ماءات الحديد $Fe(OH)_3$ عند احتجازها في مسامات البرادة ذاتها والذي يتلخص بأنها تقوم بعزل قسم لا بأس به من هذه الحشوة مانعة أثناء ذلك حصول التحليل الكهربائي بشكل عام. ولقد لوحظ أثناء توقيف عمل المخثرات في أيام العطل أو لأسباب مختلفة أخرى انسداد المسامات الكائنة في حشوة المخثرات الكهربائية برواسب مؤلفة من ماءات الحديد وهذا ما أدى إلى سوء عمل هذه المخثرات في الفترة الأخيرة من اختبارها مما أدى في بعض الحالات إلى ظهور شوارد الكروم السداسي في المياه الخارجة من المخثرات (بعد المعالجة).

من العوامل التي تركت بصمات واضحة على فعالية عمل المخثرات الكهربائية العمودية هو أن كامل حجم البرادة الفولاذية عند المصعد لم يحتو إلا على قضيب فولاذي واحد فقط ناقل للتيار الكهربائي مما قلل من مساحة الحقل الكهربائي المتولد والذي لا يعطي مساحة مقطع الحشوة الفولاذية عند المصعد، عدا عن ذلك فإن تصريف المياه المعالجة من المخثر العمودي قد تم عبر هدار مغمور وهذا ما لم يؤمن التوزيع المنتظم لتيار الماء على كامل مساحة وحدة المعالجة وهذا ما قلل من إمكانية استخدام كامل حجمها أثناء المعالجة (أي انخفاض مردودها).

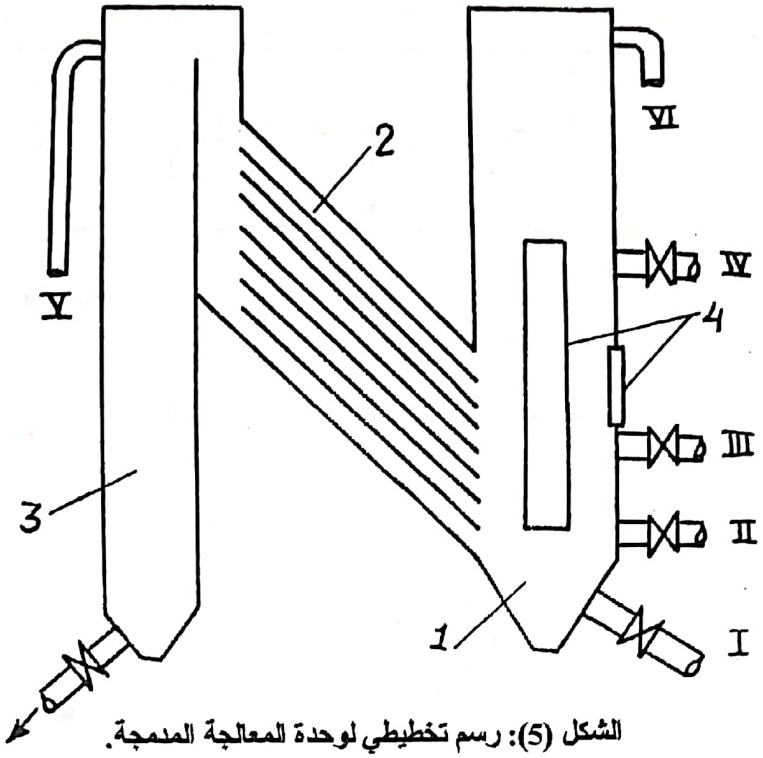
ولعله من المفيد الإشارة هنا إلى أن تدفق (غزارة) المياه المعالجة تغير أثناء إجراء التجارب في حدود (0.2-0.0258) l/sec وقد لوحظ تحسن عملية التحليل الكهربائي عند التدفقات الدنيا، ومن جهة أخرى وفي العديد من التجارب تمت إضافة محلول ملح الطعام ذي التركيز (5-7%) وبجرعة مقدارها (5mg/l) إلى المياه الداخلة إلى المخثرات مما عمل على تحسن عملية تشكل الندف وتضخمها وبالتالي ازدياد سرعة ترسبها سواء في الظروف

الستاتيكية (في أسطوانات الاختبار) أم في الظروف الديناميكية (في المرسب الصفائحي).

لاتمام عملية معالجة مياه الصرف الناتجة عن ورشة الغلفنة والتي عبرت المختثر الكهربائي فقد تم إمرارها عبر وحدة معالجة مدمجة ومؤلفة من حجرة تماس ومرسب صفائحي وفلتر (مرشح) وهي مبينة على الشكل رقم (5). وقد توضعت صفائح (رفوف) المرسب الصفائحي بزاوية مقدارها (55)° على الأفق مما ساعد على انزلاق الرواسب بشكل دائم من على سطحها إلى حجرة التماس حيث يتم مزج الرواسب مع المياه القادمة إلى هذه الحجرة.

لقد أظهرت نتائج الأبحاث التي قمنا بها لاختبار وحدة المعالجة المعروضة أعلاه أن وجود الوسط التماسي المعلق من الذرات في حجرة التماس يزيد بشكل ملحوظ من فعالية عملية المعالجة هذا ولعل الجدول رقم (3) يبين النتائج التي تم التوصل إليها في هذه المرحلة من الاختبار. نشير هنا إلى أن النوافذ البللورية المتوضعة في جدار حجرة التماس سمحت بالمراقبة المباشرة والمستمرة للتشكل السريع لطبقة الراسب المعلق في داخل هذه الحجرة، هذا في الوقت الذي تم فيه تحديد التركيز الأولي للمواد العالقة في أوقات محددة وبفاصل زمني ثابت ويساوي ثلاث ساعات وذلك من لحظة بدء عمل وحدة المعالجة.

أما المرحلة الأخيرة من المعالجة فتمثلت بتمرير المياه بعد المختثرات وحجرة التماس والمرسب الصفائحي عبر المرشح الذي عمل على تخفيض تركيز الذرات المذكورة أعلاه مما سمح بالتوصل إلى نتيجة مفادها أن استخدام التكنولوجيا المعروضة أعلاه يسمح باستعمال مبدأ الجمل المغلقة للتزويد بالمياه لورشات الغلفنة وبدون أن ينتج عنها مياه ملوثة تصب في الشبكة العامة للصرف الصحي في المدينة.



الشكل (5): رسم تخطيطي لوحدة المعالجة المدمجة.

IV-III-II-I: فوهات دخول المياه إلى وحدة المعالجة المدمجة.

VI-V: أنبوبي تصريف الغزارة الزائدة (الفائضة).

1- حجرة تماس، 2- مرسب صفائحي، 3- مرشح (فلتر)، 4- نوافذ لمراقبة مستوى الراسب في حجرة التماس بالنظر مباشرة.

أخيراً نذكر بأنه تم اختبار نموذجين من المرشحات: أولهما أحادي الطبقة (تتألف الحشوة الراشحة فيه من طبقة من الرمل الكوارتزي بحجم للحبات يقدر بحوالي 1- 2mm) وثانيهما ثنائي الطبقة (تتألف الطبقة العلوية فيه من الانتراسيت والسفلية من الرمل الكوارتزي) وقد بينت نتائج الاختبار فعالية النموذج الثاني الذي تميز بدوره ترشيح أطول.

في الختام يمكن القول بأن نتائج هذه الاختبارات مجتمعة تسمح بالمعالجة التامة للمياه قبل خروجها من المصنع مما يؤكد إمكانية تطبيق مبدأ الدورات المغلقة لاستخدام المياه في ورشات الصناعات الغلفانية.

الجدول (3): نتائج اختبار وحدة المعالجة المدمجة (نورد هنا القيم الوسطية المسجلة لكل سلسلة من التجارب)

رقم سلسلة التجارب No.	توتر التيار الكهربائي (V)	غزارة مياه الصرف الصناعي القادمة إلى المعالجة L/sec	مواصفات المياه الناتجة عن ورشة الغلفنة في المصنع									
			بعد حوض التعديل					بعد وحدة المعالجة المدروسة				
			مواد عالقة mg/l	Cr^{6+} mg/l	Cr^{3+} mg/l	Fe_2O_3 mg/l	pH	مواد عالقة	Cr^{6+} mg/l	Cr^{3+} mg/l	Fe_2O_3 mg/l	pH
I	9.0	0.2	$\frac{30-40}{35}$	56.25	-	-	5.75	-	-	$\frac{0.1-0.09}{0.09}$	-	6.6
II	8.0	0.2	$\frac{40-44}{42}$	29.5	-	-	7.2	-	-	0.017	-	7
III	6.0	0.2	$\frac{40-42}{41}$	30.5	-	-	6.2	-	-	0.022	-	6.2
IV	8.0	0.2	$\frac{40-70}{55}$	32.5	-	-	6.0	-	-	0.07	0.2	6.5
V	8.0	0.2	$\frac{40-60}{50}$	50.0	-	0.6	6.5	-	-	$\frac{0.02-1.78}{0.89}$	0.3	7.0

REFERENCES المراجع

[1]- Smernov D.N., Jenkeen V.E. Otchiska Stotchnikh vod in protsessakh obrabotke metallov. Moscow. Metallyrgia 1980.

[2]- Spravochnik Proekterovchika. Canalyzatcia nacelunnikh mest and promechlennikh predpryate Moscow. Stroyezdat. 1981.

[3]- Jranovski M.J., Lavrov I.C., Smernov O.V. Electroobrabotka gedcoste. Leningrad-1976-216P.

[4]- Nazaryan M.M., Ifimov V.I. Electrocoagulatore dla otchiske promechlennikh stocov. Kharcov-1983-144P.

[5]- Kharetonov E.V. Razrabotka electrolezurov c zasepnime anodame from otkhodov metalloobrabotke dla otchiske stotchnikh vod galvanechickikh proyavodstv. Aftoref. dis. kand. tekhn. nayk. Moscow-1983.

[6]- Balko E.M., Argade S.D. Method for the recovery of mercury and other heavy metalloions from a luguid stream. Pat. 4208258 USA.

[7]- Marcantonia P.I. Apparatus for electro chemical removel of heavy metall such as chromium from dilute waste water. Stream using flow through porous electrodes pat. 4292160 USA.