



ابتكار وحدات معالجة مياه الصرف
الصناعي باستخدام الأنابيب المتوازية

مهندس /محمد أحمد عبد الله حجازي
مدير إدارة التطوير ومتابعة العمليات
الإدارة العامة للتكنولوجيا والتطوير
شركة القاهرة لتكرير البترول

أتوجه بخالص الشكر والتقدير للقامات الفنية والإدارية السادة القائمين على جمعية البترول المصرية
فطيلة عقود ظل صرحكم منبراً للعلم ومنارةً لعقول أبناء قطاع البترول ترسو على شاطئها سفن البحث
والإبداع الذي يتميز به العاملون بقطاع البترول المصري الذي أفخر بانتمائي إليه والله أسأل أن يحفظكم
لبنةً في بناء مصرنا الحبيبة العظيمة. وشكر خاص إلى رفيقة الدرب وشريكة كل نجاح زوجتي الغالية.

موضوع البحث: تقليل المخاطر وتحسين الأثر البيئي داخل شركات القطاع

اسم البحث: (ابتكار وحدات معالجة مياه الصرف الصناعي باستخدام الأنابيب المتوازية)

نبذة عن البحث:

الهدف من هذه الدراسة: هو ابتكار وحدة معالجة مياه الصرف الصناعي لمعامل التكرير باستخدام الأنابيب المتوازية بخامات ومكونات و مواد فعالة محلية الصنع تتميز بانخفاض التكلفة وذات كفاءة عالية ومرونة في التشغيل والصيانة تضاهي مثيلاتها أجنبية الصنع بل وتفوقها كفاءةً. إن استخدام هذه الوحدة المبتكرة يضمن التوزيع المنتظم والكامل للمياه داخل أنابيب الفصل بما يحقق زمن البقاء الأطول ومساحة التلامس الأكبر والتي تكفي لحدوث الامتزاز الأمثل للملوثات على سطح المادة الفعالة داخل وحدة المعالجة وهو ما تم تحقيقه بالفعل باستخدام نموذج تجريبي بشركة القاهرة لتكرير البترول.

إن هذه الوحدة المبتكرة ستكون بادرة تحرر من التصميم المعتاد لوحدات المعالجة التقليدية والمعتمد على استخدام المجمعات الرأسية الكبيرة لما لتلك الأخيرة من مشاكل في التشغيل والصيانة. فمن حيث التشغيل ستكون الوحدة المبتكرة مرنة جدا في التحكم بكمية المياه المعالجة سواء كانت كبيرة أو قليلة دون التأثير مطلقاً على كفاءة الفصل على خلاف الوحدات التقليدية التي تتأثر كفاءة الفصل فيها بتغير كمية المياه فاذا كانت الكمية قليلة تنشأ مناطق ميتة لا يحدث فيها اتصال بين المياه الملوثة والمادة الفعالة داخل وعاء المعالجة التقليدي بالإضافة إلى عدم التوزيع الجيد للمياه بما يقلل من كفاءة المعالجة وعلى الجانب الآخر إذا زادت كمية المياه فهذا يزيد من فرصة هروب حبيبات المادة الفعالة من فتحات الموزعات على صينية الارتكاز مما يفقد المجمع قدرته على الفصل وهذه المشكلة تم حلها تماماً في وحدة المعالجة المبتكرة حيث تتميز بإحكام المادة الفعالة بداخلها فلا مجال للهروب سواء في وضع التشغيل أو في مرحلة الغسيل العكسي والتنشيط.

تم أيضا في هذه الدراسة الاستعاضة عن مضخات حقن الكيماويات بنظام الحقن بالسحب المعتمد على السريان بواسطة Ejectors تم تصميمها في هذه الدراسة وتصنيعها محليا لتكون إضافة جديدة يميز الوحدة المبتكرة لتجنب مشاكل مضخات حقن الكيماويات كثيرة الأعطال وسريعة التلف.

إن إمكانية عمل توسعات مستقبلية من أهم نقاط القوة لهذه الوحدة المبتكرة فالآن صار ممكناً التوسع دون الحاجة لمساحة أفقية حيث يمكن التوسع رأسياً قدر الحاجة تماماً وبأقل التكاليف سواء الإنشاءات أو المرافق المساعدة والكيماويات المستخدمة مع إمكانية الاستفادة من مخلفات التنشيط ومخلفات المادة الفعالة باستخدامهما لعمل وقود صلب ذو محتوى حراري عالي.

وتم في هذه الدراسة عمل نموذج لمعالجة كمية ٣٠٠٠ لتر في الساعة وهي كمية كبيرة نسبياً كنموذج تجريبي بما يضيف واقعية أكثر على أداء وحدة المعالجة المبتكرة وكونها قابلة للتطبيق على المستوى الصناعي. وقياس محتوى الزيت في المياه المعالجة باستخدام النموذج التجريبي للوحدات المبتكرة تبين انخفاض قيمتها من ٢٠ الى ٤ جزء في المليون وهي نتائج مبشرة للغاية لتقليل مخاطر مياه الصرف الصناعي وتحسين الأثر البيئي لها داخل شركات القطاع.

مهندس /محمد احمد عبد الله حجازي
مدير إدارة التطوير ومتابعة العمليات
شركة القاهرة لتكرير البترول

البريد الإلكتروني: higazy_m@yahoo.com

رقم الجوال: ٠١٠٦١٠٩٨٨٨٦ - ٠١٠٦٤٣٩٩٩٧

رقم تليفون العمل: ٠٤٠-٣٥٠٧٦٠٦

المحتويات

	١	مقدمة
	٢	مياه الصرف الصناعي
٥	١-٢	المصادر ونسب الملوثات.....
٦	٢-٢	حالات امتزاج الهيدروكربون(الزيت) مع مياه الصرف الصناعي.....
٦	٢-٣	طرق معالجة مياه الصرف الصناعي.....
٦	٢-٤	اختيار طريقة المعالجة.....
٧	٣	الامتزاز (ADSORPTION).....
	٤	أنواع الفلاتر
٨	٤-١	GRAVITY FILTERS.....
٨	٤-٢	UPFLOW FILTERS.....
٩	٤-٣	AUTOMATIC UPFLOW FILTERS.....
٩	٤-٤	PRESSURE FILTER.....
١٠	٥	دراسة الفلتر هيدروليكيًا (حسابات فاقد الضغط).....
	٦	وصف نموذج المعالجة
١١	٦-١	مرحلة الفلترة الأولية.....
١١	٦-٢	مرحلة الامتزاز في فلاتر الفحم المنشط.....
١٢	٦-٣	الغسيل العكسي وتنشيط الفحم.....
١٣	٦-٤	جهاز قياس محتوى الزيت.....
١٦	٧	منظومة إضافة الكيماويات بالسحب.....
٢٠	٨	حساب تكلفة الانشاءات والتشغيل والصيانة.....
	٩	الجدوى الاقتصادية ومناقشة نتائج البحث
٢١	٩-١	مزايا الوحدة المبتكرة.....
٢٢	٩-٢	العيوب.....
٢٣	١٠	المراجع

المياه والطاقة تمثلان حجر الأساس لبناء الحضارة وهما متحداً ومرتبطينان بروابط مشتركة فكلما زاد انتاج الدولة من الطاقة زاد معدل استهلاكها من المياه ومعامل التكرير واحدة من أكثر الاماكن الصناعية استخداماً للمياه تختلف من وحدة إلى أخرى بل تختلف كمية المياه المستهلكة لكل منتج عن الآخر فعلى سبيل المثال يستهلك البنزين النصيب الأكبر من المياه حيث تصل كمية المياه المستهلكة لإنتاج ١ متر^٣ بنزين إلى حوالى (٠,٦٠ - ٠,٧١ متر^٣ ماء) تنقسم بين مياه المتكثف من البخار المحقون في أبراج التقطير وكذلك مياه الغسيل بالصودا لمعالجة المحتوى الكبريتي بينما وقود الطائرات يستهلك كمية من الماء (٠,٠٩ متر^٣ ماء) [١].

٢- مياه الصرف الصناعي بمعامل التكرير

١-٢ المصادر ونسب الملوثات

تتنوع مصادر المياه الملوثة داخل معامل التكرير وبالتالي تزداد معها أشكال الملوثات الموجودة بمياه الصرف الصناعي [٢] وفيما يلي بعض هذه المصادر وأشهرها:

- مياه فاصل الاملاح Desalter water
- مياه تصفية المستودعات Tank bottom water
- مياه تصفية مجمعات المنتجات Sour water
- الصودا المستهلكة من وحدة معالجة البنزين Spent caustic water
- مياه غسيل المعدات مثل الأبراج والمستودعات
- مياه تنشيط الميسرات
- مياه المعامل الكيماوية

والجدول التالي يبين النسب المختلفة من الملوثات الموجودة بكل مصدر من مصادر مياه الصرف الصناعي داخل معامل التكرير

Source	Desalter water	Tank bottom water	Sour water
Pollutant mg/l			
Chemical oxygen demand mg/l	400 to 1000	400 to 1000	600 to 1200
Free hydrocarbon mg/l	Up to 1000	Up to 1000	< 10
Suspended solids mg/l	Up to 500	Up to 500	< 10
Phenol mg/l	10 to 100		Up to 200
Benzene mg/l	5 to 15		0
Sulphides mg/l	Up to 100	Up to 100	< 10
Ammonia mg/l	Up to 100		< 100

جدول (١) مصادر مياه الصرف الصناعي والنسب المتوقعة لكل ملوث.

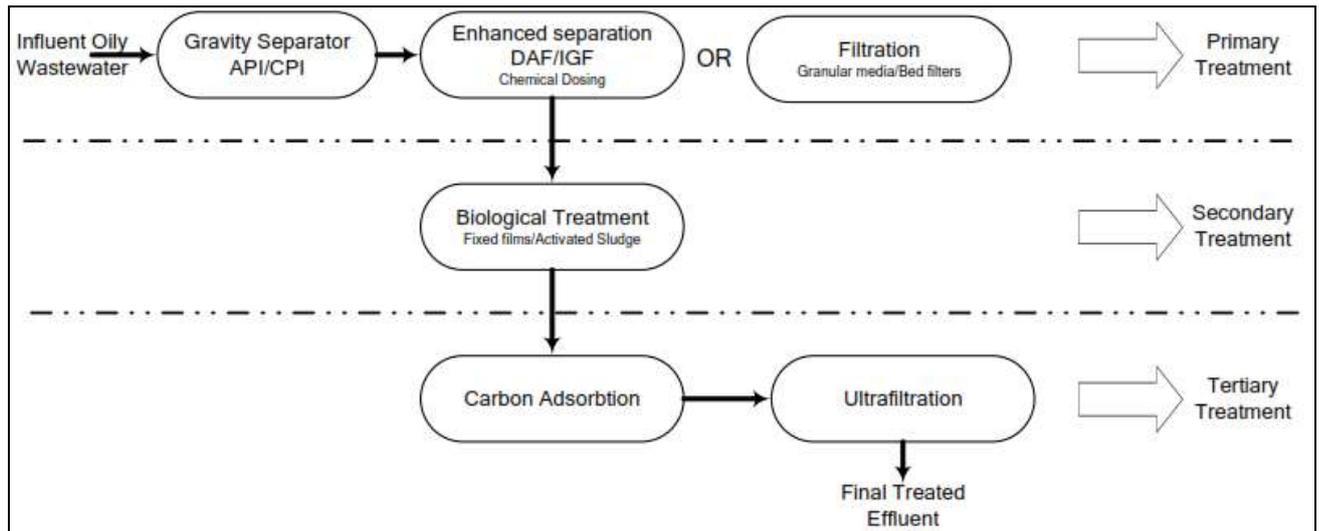
٢-٢ حالات امتزاج الهيدروكربون (الزيت) مع مياه الصرف الصناعي

تتخذ الملوثات الهيدروكربونية (الزيت) مع مياه الصرف ثلاثة أشكال معتمدة على حجم قطرة الزيت:

- **حرة FREE:** ويكون الزيت على هيئة طبقة منفصلة تماما عن سطح الماء يمكن كشطها بسهولة عن سطح الماء
- **قطرات Droplets:** وفيها تكون قطرات الزيت مشتتة ولكن بفعل قوى الطفو يمكن أن تتجمع لتشكل قطرات ذات حجم أكبر مكونة طبقة منفصلة بعد مدة زمنية معينة.
- **مستحلبة EMULSIFIED:** وفيها تتغلب قوى التجاذب بين قطرات الزيت على قوى الطفو بفعل الخلط الحادث أثناء عملية التصنيع سواء بالمضخات أو الانتقال عبر الخطوط والبلوف مما يزيد من قوة المستحلبات هو وجود العديد من المركبات الكيميائية والعناصر التي تعمل كمواد محفزة للاستحلاب ومنها: الرمل، المركبات البارافينية، هيدروكسيد الحديد، مركبات الزنك، كربونات الكالسيوم، المركبات الكبريتية مثل كبريتيد الحديد وغيرها من المواد التي منها ما هو موجود بصورة طبيعية أو تواجد بفعل عملية التصنيع. [٣]

٢-٣ طرق معالجة مياه الصرف الصناعي

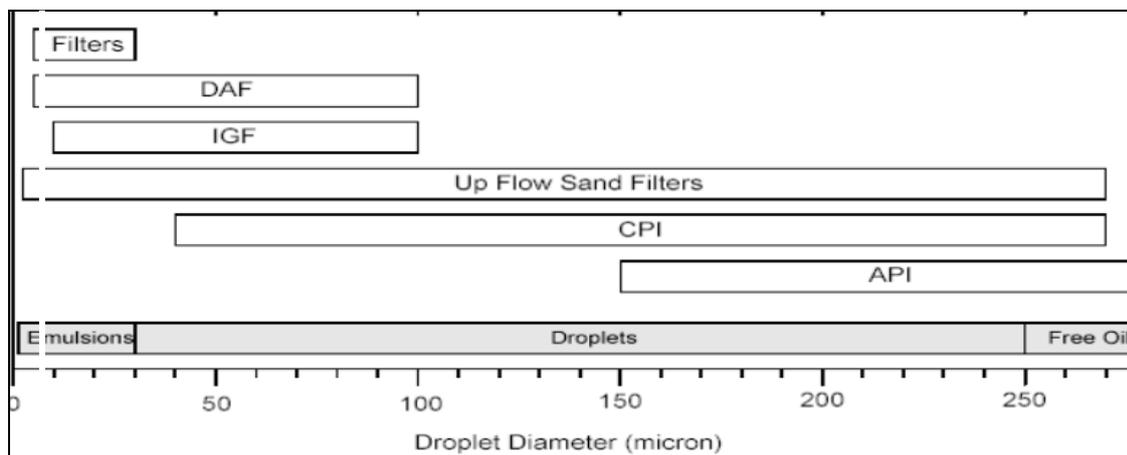
هناك العديد من التكنولوجيات المبتكرة ولكن تظل طرق المعالجة الموضحة في شكل رقم (١) هي الأشهر والأكثر استخداما على مستوى صناعة التكرير ويرجع زمن استخدامها لعقود



شكل رقم (١) العمليات المختلفة لمعالجة مياه الصرف الصناعي.

٢-٤ اختيار طريقة المعالجة

إن اختيار عملية المعالجة المناسبة والتكامل الجيد بين عمليات المعالجة المختلفة من الممكن ان يوفر مياه ذات جودة عالية وبكفاءة فصل تصل على حوالي ٩٠ الى ٩٩ % للملوثات، COD, BOD, O&G, BTEX, SS, NH, Heavy metals وبالتالي من الممكن إعادة استخدامها مرة أخرى. تعتمد عملية الفصل والمعالجة على حجم كريات الزيت في الماء فكلما كان الحجم أكبر كلما كانت فترة الفصل اللازمة بفعل الطفو اقل مما يعنى كفاءة فصل أكبر وشكل رقم (١) يوضح عملية المعالجة المطلوبة لكل حجم قطرة زيت موجود في الماء [٤] ويظهر الشكل أهمية استخدام الفلاتر وفعاليتها في عملية المعالجة وخاصة عندما يكون حجم قطرات الزيت أقل حجماً.



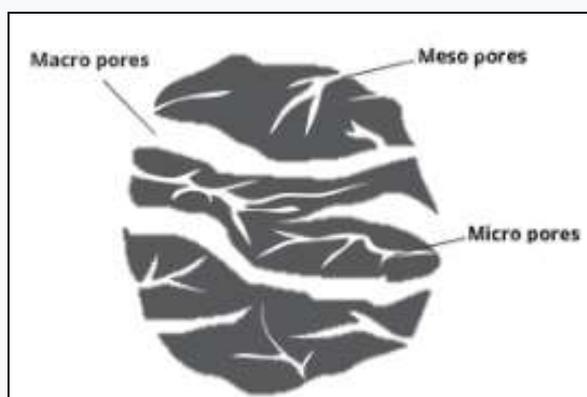
شكل رقم (٢) العلاقة بين طريقة المعالجة المطلوبة وحجم قطرات الزيت.

سيتم التركيز في هذه الدراسة على فلاتر الفحم المنشط ومدى فعاليتها في إزالة العوالق والشوائب الموجودة بمياه الصرف الصناعي وهو مجال دراسة هذا البحث لما يتميز به الفحم من فجوات وشقوق بينية موجودة بين حبيباته مما يزيد من المساحة السطحية الفعالة في عملية المعالجة كذلك الفحم غير قطبي فلا شحنات على سطحه مما يجعله مادة جيدة الامتزاز وسهلة إعادة التنشيط. جدير بالذكر أنه تم استخدام حبيبات فحم ذات قطر كبير نسبياً لما أثبتته العديد من الدراسات من كفاءة فصل عالية لمحتوى الزيت بينما الأقطار الصغيرة تتميز في تحسين مواصفة لون المياه. [٥]

٣- الامتزاز (ADSORPTION)

يحدث الامتزاز (ADSORPTION) على سطح المادة الفعالة داخل الفلتر للسببين التاليين:

- قوى قص السائل والاحتكاك على سطح الرمل أو الكربون النشط (PACKING) فتعلق الرواسب على الشقوق البينية داخل هذه المواد
- تنشأ شحنات كهربائية نتيجة الحركة المستمرة بين السائل الحامل للملوثات وبين سطح مادة الحشو (PACKING) فتتجاذب المواد العالقة إلى سطح المادة الفعالة [٦].

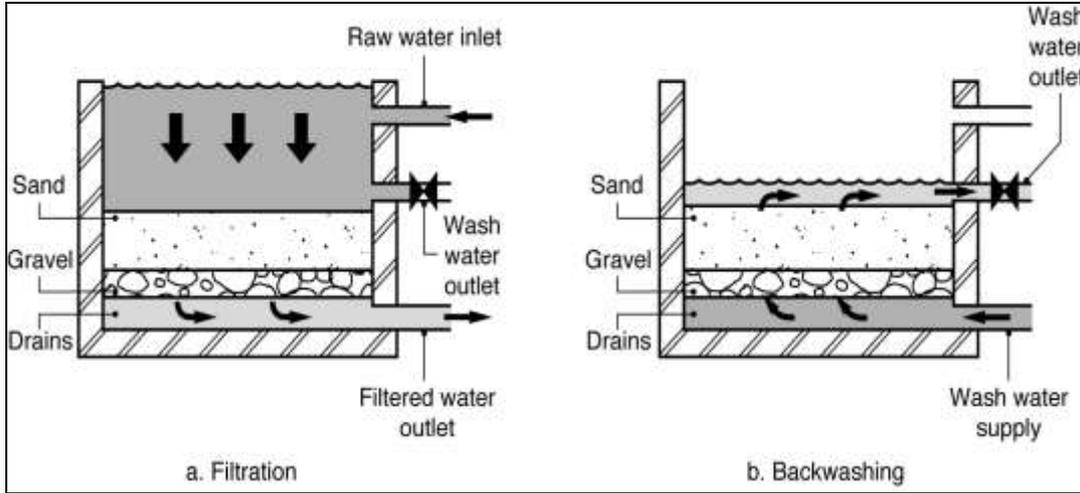


شكل رقم (٣) توضيحي للبنية الداخلية لحبيبات الفحم.

ويتم وضع الفحم المنشط أو أى مادة كوسط معالجة داخل أوعية رأسية أو أفقية نستعرض أكثرها شيوعاً كالتالي
 ٤- أنواع الفلاتر:

GRAVITY FILTERS ١-٤

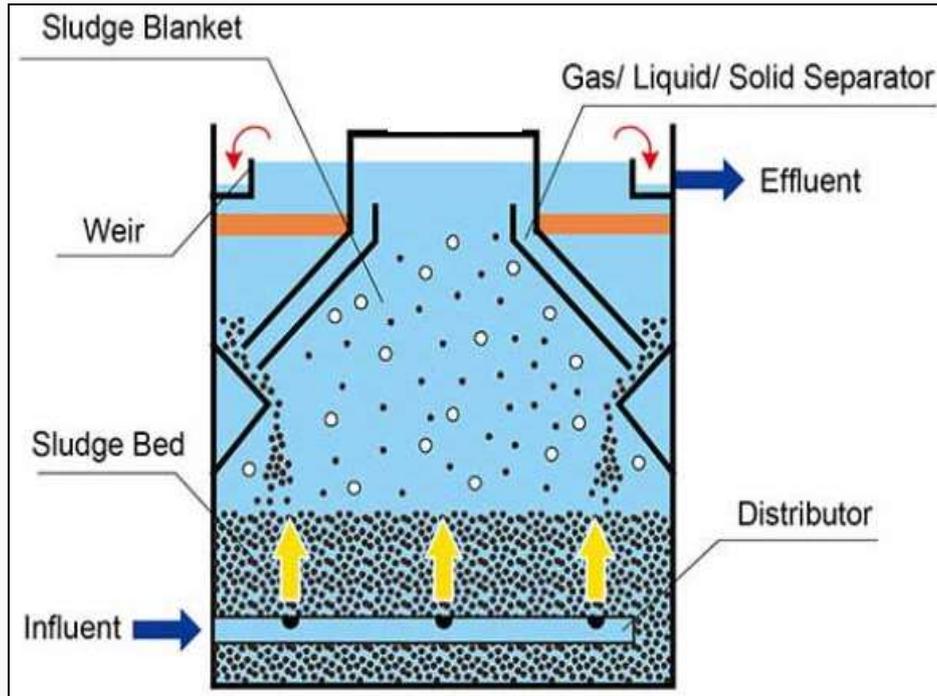
وهي فلاتر ذات سطح مفتوح قد تكون مصنعة من الخرسانة المسلحة أو من الكربون استيل وتعمل بفعل الجاذبية حيث تنساب المياه الداخلة للمعالجة لتمر عبر طبقات الفلتر بفعل الجاذبية. [٧]



شكل رقم (٤) رسم توضيحي لفلاتر الترسيب التلقائي بفعل الجاذبية

UPFLOW FILTERS ٢-٤

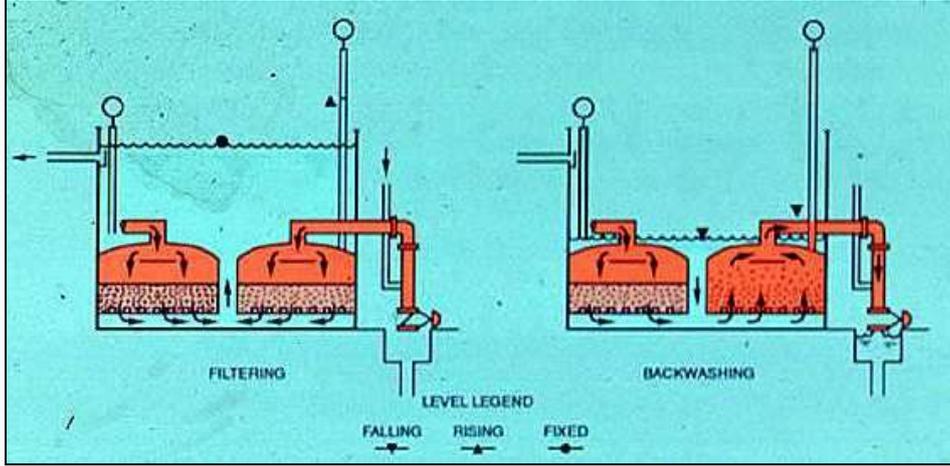
تبلغ معدلات التدفق في هذا النوع حوالي ١٠-٥ جالون في الدقيقة / قدم مربع. تحتوي وحدات التدفق العلوي على وسط متدرج الحجم حيث يكون الأقل حجماً في الجزء العلوي من الفلتر والأكثر قطراً بالأسفل. يتميز بحقن الهواء أثناء التنظيف (لا يعتبر غسيلاً عكسياً لأن اتجاه التدفق هو نفسه أثناء الخدمة) في إزالة المواد العالقة على وسط المعالجة وتنشيطه.



شكل (٥) رسم توضيحي فلتر تدفق علوي

٣-٤ AUTOMATIC UPFLOW FILTERS

طور العديد من الشركات المصنعة مرشحات الجاذبية التي يتم غسلها تلقائياً عندما يصل فاقد الضغط خلال وسط الفترة إلى قيمة محددة يفتح عندها سيفون تنشيط الغسيل العكسي وعند الوصول إلى منسوب محدد ويعود المرشح إلى الخدمة. تتوفر مرشحات الجاذبية الأوتوماتيكية بأقطار تصل إلى ١٥ قدماً. عند تجهيزها بوسائط متعددة الطبقات عالية السرعة، يمكن لوحدة واحدة ذات قطر كبير تصفية ما يصل إلى ١٠٠٠ جالون في الدقيقة



شكل رقم (٦) رسم توضيحي لفلاتر التدفق العلوي الأتوماتيكية

٤-٤ PRESSURE FILTER

تتشابه مرشحات الضغط مع مرشحات الجاذبية من حيث أنها تشمل وسائط الترشيح، وطبقة الدعم، ونظام الصرف السفلي، وجهاز التحكم ولكن تتميز فلاتر الضغط، المصممة عمودياً أو أفقياً، بأغلفة فولاذية أسطوانية ورؤوس مقعرة. يتراوح قطر مرشحات الضغط العمودي من ١ إلى ١٠ أقدام بسعات تصل إلى ٣٠٠ جالون في الدقيقة بمعدلات ترشيح تبلغ ٣ جالون في الدقيقة / قدم مربع.



شكل رقم (٧) المرشح الرمل التقليدي (PRESSURE FILTER)

٥- دراسة الفلتر هيدروليكيًا (حسابات فاقد الضغط)

إن ادراج الدراسات والمعادلات التي يخضع لها الفلتر في دراسته هيدروليكيًا نقطة هامة جدا فمنها استنتجت أبعاد نموذج المعالجة المبتكر حيث أثبتت جميع الدراسات ومنها Tyler et al & Baylis أن أكبر انكسار للضغط يحدث في أول ٦ بوصة من ارتفاع المادة الفعالة. [٨، ٩]

ففي الفلاتر التقليدية بارتفاعاتها التي تصل الى حوالي خمسة أمتار سرعان ما تتكون طبقة من الملوثات على الطبقة العليا من الفلتر (Deposits Cake) والتي يصل ارتفاعها كما تقدم حوالي ٢٠-٣٠ سم تؤدي إلى انخفاض ضغط السريان وتكوين قنوات خلال المادة الفعالة داخل الفلتر تؤدي إلى عدم التلامس الجيد بين المياه و سطح المادة الفعالة مما يفقد الفلتر كفاءته.

لذلك العديد من الأبحاث (١٠، ١١) أعطت أفضلية لاستخدام حبيبات أكبر حجما في طبقات الفلتر العليا وتقليل حجمها للطبقات السفلى من الفلتر بما يقلل من انكسار الضغط عند الطبقات العليا من الفلتر والاستفادة من المادة الفعالة لأقصى درجة ممكنة بما يعطى أطول فترة تشغيل ممكنة بأعلى درجات الفصل للملوثات وهو ما تم اثباته عمليا في هذه الدراسة.

في كل الأحوال يخضع الفلتر في عمله على معادلة دارسي للسريان الهادئ

$$v = KS$$

v - Velocity of flow fps

k - The coefficient of permeability gpd/sq. ft at unit hydraulic gradient)

S - The slope ratio of the hydraulic gradient.

وبالتالي يمكن حساب فاقد الضغط للفلتر النظيف طبقا للمعادلة التي تمت بواسطة كل من Hulbert, R. and Feben [١٢] وتم فيها استخدام

$$h = \frac{27 \quad lq(73-p)}{10^5 \quad d^{1.89}(t+20.6)}$$

h- Loss of head (ft)

l- Depth of bed (in.)

q- Rate of filtration (mgad)

d- 50% packing size (mm)

t- Water temperature (°F)

p- porosity (percent)

معادلة أخرى تم تطويرها بواسطة Fair and Hatch [١٣]

$$\frac{h}{1} = \frac{1.067 \quad C_D \quad v^2}{g p^4 d} = \frac{0.178 \quad C_D \quad v^2 \quad A}{g p^4 V^*}$$

h - Head loss in depth 1

CD- coefficient of drag = $\frac{24}{R} + \frac{3}{R} + 0.34$

v - Face velocity or velocity of water moving down upon the sand bed

g = acceleration due to gravity

p = porosity ratio of the filter be

d - Characteristic diameter of the sand grains

R- Reynolds number d v/y

v = kinematic viscosity

A = surface area of sand particles

V* a volume of sand particles

٦- وصف نموذج المعالجة

١-٦ مرحلة الفلتر الأولي Pre-filtration Granular Sand Filters

تتكون وحدة المعالجة المبتكرة من مرحلتين المرحلة الأولى لإزالة العوالق وقطرات الزيت ذات الحجم الأكبر وهي عبارة عن وعاءين رأسيين أحدهما في وضع التشغيل والآخر في الغسيل العكسي أو احتياطي كل منهما بقطر ١٠٠ سم وبارتفاع ٧٥ سم تحتوي على شبك سلك بفتحات ١ مم محكمة الإغلاق لحبيبات رمل بقطر من ٢ إلى ٣ مم وبسمك ٢٥ سم كما هو موضح بالشكل رقم (٨) ومجهزة بخط غسيل عكسي بقطر ٢ بوصة من الممكن حقن هواء أو ماء ساخن لتسهيل عملية التنظيف وتقليل زمن الغسيل العكسي. وتكمن أهمية هذه المرحلة في أنها تقلل من حمل الملوثات وكذلك تزيد من زمن التشغيل وتقليل فاقد الضغط للمرحلة الثانية من وحدة المعالجة المبتكرة بما يضمن أعلى فعالية للفحم المنشط وزيادة عمره التشغيلي.

٢-٦ مرحلة الامتزاز في فلتر الفحم المنشط Adsorption Granular Charcoal Filters

وهي مرحلة المعالجة الرئيسية والتي تم بناء النموذج التجريبي لها بشركة القاهرة لتكرير البترول وعاء أسطواناني رأسي بارتفاع ١ متر وقطر ١٠ بوصة موضوع بأسفله قاعدة تثبيت بلاستيكية مثبت فوقها شبك سلك بفتحات قطر ٢ مم لإحكام وسط المعالجة داخل الفلتر وعدم هروبه أثناء عملية المعالجة يتم وضع طبقة من الزلط بارتفاع ٢٠ سم ثم طبقة الفحم المنشط ذو حبيبات بقطر ٥ مم بارتفاع ٧٠ سم ثم يتم إحكام غلق الفلتر بطبقة الزلط العلوية ثم شبك السلك وقاعدة إحكام الغلق العلوية كما هو مبين بالشكل رقم (٩).

جدول رقم (٢) يوضح الفرق في الوزن النوعي لأنواع الفحم المختلفة وتم استخدام الفحم النباتي في هذا النموذج لما يمتاز به عن الفحم المخلوق أو الفحم الصخري فيتميز الفحم النباتي بكون كثافته النوعية قليلة جدا مقارنة بالأنواع الأخرى من الفحم [14] مما يقلل تكلفة الانشاءات اللازمة للوحدة وتكلفة الأساسات سواء خرسانية أو معدنية علاوة على ذلك فإن Adsorptive-Capacity له كبيرة بما يعطى فترات تشغيل أطول.

Specific gravity of wood charcoal and different grades of coal.	
Sample	Specific gravity ^a
Wood charcoal	0.40
Peat	1.24
Lignite (Jet)	1.29
Sub-bituminous coal	1.30
Bituminous coal	1.32
Anthracite	1.47
Graphite	2.25

^a Averages after Wood et al. (1983).

جدول رقم (٢) الوزن النوعي لأنواع الفحم المختلفة

وصل معدل تدفق المياه بالنموذج التجريبي إلى ٣ متر^٣/ساعة بما يعادل حوالي ١٣,٢ جالون/دقيقة يمكن زيادته بزياده قطر الفلتر فعلى سبيل المثال عند زيادة القطر إلى ٢٠ بوصة أي حوالي ٥٠ سم يمكن أن يصل

معدل السريان إلى أربعة أضعاف الكمية المذكورة أعلاه وفي ذلك دلالة واضحة على كبر سعة الامتزاز للوحدة المبتكرة للمعالجة بالمقارنة بالمعدلات التي تم سردها في مقدمة البحث للفلاتر ذات الأقطار الكبيرة ويرجع ذلك إلى التلامس التام بين الماء وسطح المادة الفعالة.

إن معدل سريان وحدة المعالجة المبتكرة يجعلها في منافسة مع نظيراتها المستوردة فعلى سبيل المثال ضعف معدلات التدفق الخاصة بوحدات معالجة خاصة بشركات عالمية مثل Chemviron والتي تستخدم الفحم الحجري المنشط حراريا ذو التكلفة العالية التي قد تصل إلى أربعة أضعاف تكلفة الفحم المستخدم في وحدة المعالجة المبتكرة محلية الصنع.

٦-٣ الغسيل العكسي وتنشيط الفحم

إن عملية الغسيل العكسي في الوحدة المبتكرة متميزة عن تلك التقليدية فأوعية الفصل التقليدية ذات الحجم الكبير تستخدم أربعة بلوف أوماتيكية لكل وعاء كما هو مبين بالشكل رقم (١٠)



شكل رقم (١٠) صورة فوتوغرافية لأوعية الفصل التقليدية

كلما كانت كمية المياه الداخلة للمعالجة أكبر كلما كانت أوعية الفصل أكبر وبالتالي حجم بلوف التحكم عليها أكبر ذات حجم كبير بتصميم خاص مما يعني صعوبة أكبر في الصيانة وقطع غيار أعلى وخروج وعاء فصل بالكامل من الخدمة مما يعني ضرورة سرعة عملية الإصلاح وهو ماتم تلافيه بالكامل في الوحدة الجديدة فبلوف التحكم في الوحدة المبتكرة ذات احجام صغيرة متوفرة في السوق المحلي كذلك فخرج أكثر من بلف تحكم من الخدمة للصيانة لن يؤثر على عمل الوحدة حيث أن turn down ratio للوحدة كبير فهي ذات مرونة عالية للتعامل مع تذبذب كميات المياه الداخلة للمعالجة.

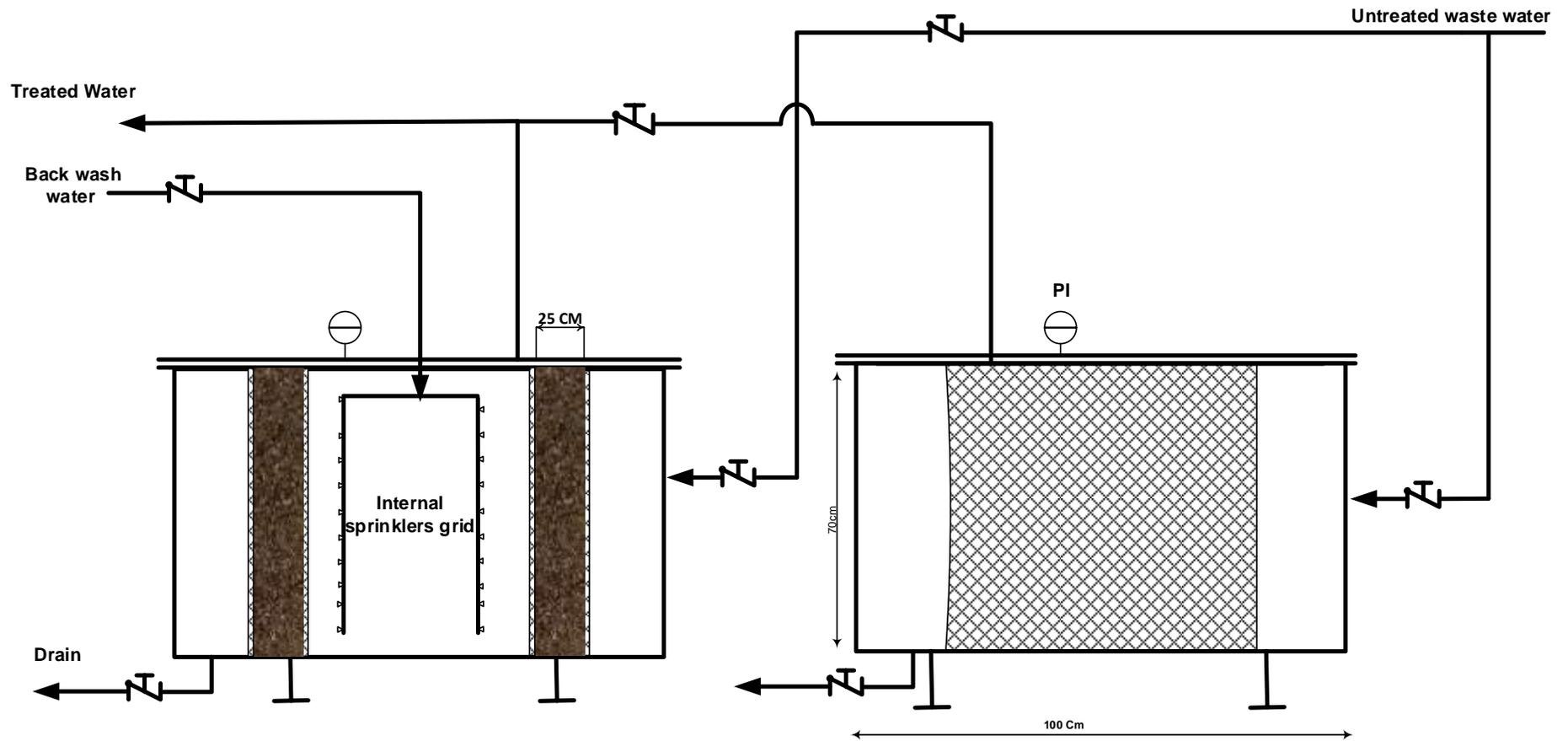
عملية الغسيل العكسي بعد غلق المحابس V1 to V6 وفتح محابس الغسيل العكسي V10, V20, V30 حيث يتم الغسيل العكسي بماء مرشح ويمكن استخدام نبضات من الهواء عند الحاجة لتفعيل عملية الغسيل كما يمكن استخدام ماء ساخن على سبيل المثال المتكثف من غلايات قاع الابراج ومن وحدة اضافة الكيماويات. هناك العديد من طرق التنشيط للفحم فمن الممكن اضافة كلوريد الحديدك لعمل تنشيط للفحم بعد مرحلة الغسيل بالإضافة إلى ذلك يمكن استخدام البخار المشبع لعمل التنشيط.

٦-٤ جهاز قياس محتوى الزيت

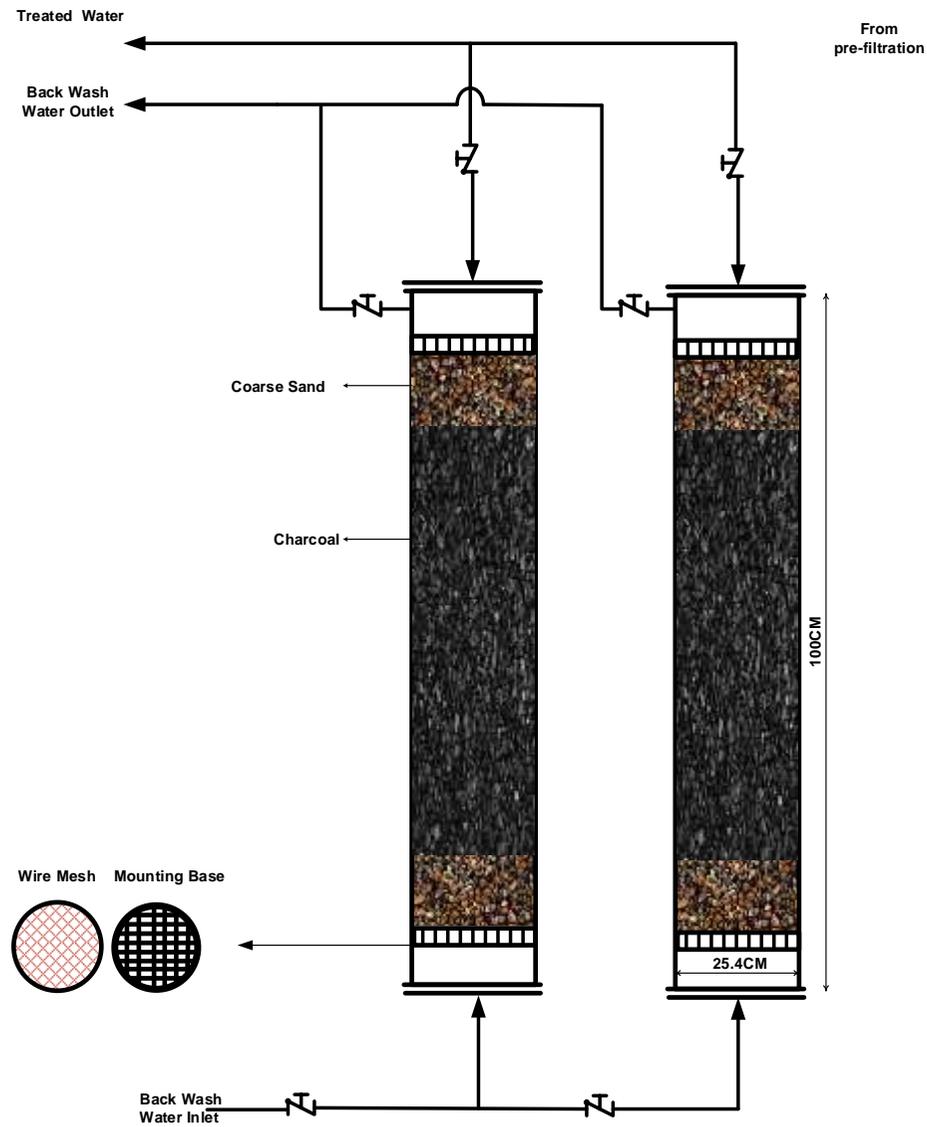
وتم إجراء التحاليل اللازمة على المياه المعالجة في معامل التحاليل بشركة القاهرة لتكرير البترول بواسطة جهاز ERACHECK موضح مواصفاته بجدول رقم (٣) المتوافق مع ASTM D7678 [١٥] وكانت النتائج واعدة للغاية حيث انخفض محتوى الزيت لأسوأ عينة مياه من ٢٤ ppm إلى ٣ ppm .

Available Test Method	ASTM D7678
Correlation to	Infrared spectroscopy: ASTM D3921, D7066; DIN 38409-H18; OSPAR IR method; IP426 Gas chromatography: ISO 9377-2, ISO 9377-2 (mod) OSPAR, ISO 16703; MADEP-EPH; EN 14039
Extraction Method	External liquid-liquid or solid-liquid extraction
Extraction Solvents	Cyclohexane (recommended) / Cyclopentane
Applications	TOG (Total Oil and Grease) and TPH (Total Petroleum Hydrocarbon)
Sample Clean-up (TPH)	Simplified removal of polar substances over attachable Na ₂ SO ₄ / Florisil® cartridges
Sample Volume	Typically 900 mL water and 50 mL cyclohexane according to ASTM D7678
Measurement Time	1 min + 1 min background measurement
Method detection limit (MDL)	0.1 mg/L oil-in-water (900:50 mL H ₂ O:Solvent) 7mg/kg oil-in-soil (20 g:40 mL Soil:Solvent)
Repeatability (SD)	(Enrichment factor 18 (900:50 mL H ₂ O:Solvent) 0-9.9 mg/L: 0.05 mg/L 10-99.9 mg/L: 0.15 mg/L 100-199.9 mg/L: 0.25 mg/L 200-2000 mg/L: 1 mg/L
Measurement Range	(ASTM D7678: 0 – 2 000 mg/L oil-in-water (900:50 mL H ₂ O:Solvent (Up to 36 000 mg/L oil-in-water (50:50 mL H ₂ O:Solvent (Up to 72 000 mg/kg oil-in-soil (20 g:40 mL Soil:Solvent
Interfaces	Built-in PC with Ethernet, USB and RS232 interfaces; Wifi via USB dongle Direct LIMS connectivity via LAN and output to printer or PC Optional input by keyboard, mouse and barcode reader
Display	10 – 99.9 mg/L: 0.15 mg/L
PC Software	ERASOFT RCS – remote control Windows® software for multi-convenient data transfer and result ,instrument remote control analysis
Result Database	Over 100 000 detailed test reports stored in internal memory
Alarm Tracking	All alarm messages are stored in the database together with the result
Power Requirements	Auto-switching 85 – 264 V AC, 47 – 63 Hz, max. 150 W (multi-Field application: 12 V DC (vehicle battery) (voltage power supply adapter available
Dimensions / Weight	29x 35 x 34 cm (11.4 x 13.8 x 13.4 in) / 9.7 kg (21.4 lb)

جدول رقم (٣) مواصفات جهاز Eracheck المستخدم لتعيين كمية المواد الهيدروكربونية بعينة المياه



شكل رقم (٨) رسم توضيحي للمرحلة الأولى من وحدة المعالجة المبتكرة



شكل رقم (٩) رسم توضيحي لمرحلة المعالجة بالامتزاز على سطح الفحم المنشط.

٧- منظومة إضافة الكيماويات بالسحب

هنا يأتي دور واحدة من نقاط قوة وحدة المعالجة المبتكرة وهي منظومة سحب الكيماويات المعتمدة في تشغيلها على السحب الناتج من السريان فعوضاً عن مضخات حقن الكيماويات عالية التكلفة كثيرة الأعطال سيتم هنا سحب الكيماويات المطلوبة لوحدة المعالجة من خلال EJECTOR تم تصميمه وتصنيعه بالكامل من خامات محلية وتم تجربته واعتماده في معمل الهيدروليك بكلية الهندسة جامعة طنطا للتأكد من سحبه حتى ضغط ٣٥ بار.

فهو عبارة عن أنبوب قصير نحاسي بطول ٤٧,٥ مم وقطر داخلي ٤ مم وقطر خارجي ١٠ مم يتم ربطه من جانب واحد ليتم ربطه بفوهة الرش بينما يكون الجانب الآخر خشناً ليتم توصيله بالأنبوب المرن اللازم لتدفق الكيماويات. تعتمد قوة الشفط على اختلاف سرعات الماء كما يعتمد أيضاً على تغير الأقطار. جدول رقم (٣) يوضح حفاظ الاجكتور على السحب عند درجات الحرارة المختلفة وعند ضغوط سريان عالية مما يعنى جاهزيته التامة للعمل عند ظروف التشغيل المختلفة ووضع خارج الاجكتور الحالي ليكون على سحب مضخات التغذية يعطى وقت امتزاج أكبر للكيماويات كذلك تعمل المضخة عمل تسريع عملية الخلط بما يوفر وحدة خلط الكيماويات (mixer).

يخضع الاجكتور المبتكر للمعادلة التالية والتي منها يمكن تعيين الضغط عند منطقة الخنق والتي عندها يحدث السحب

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$V_2 = V_1 (d_1/d_2)$$

$$\frac{p_1 \times 10^5}{\gamma} + \frac{(v_1)^2 \times 10^5}{2 \times g} = \frac{p_2 \times 10^5}{\gamma} + \frac{(v_2)^2 \times 10^5}{2 \times g}$$

The throttling pressure

$$p_2 = \left(\frac{p_1 \times 10^5}{\gamma} + \frac{(v_1)^2 \times 10^5}{2 \times g} - \frac{(v_2)^2 \times 10^5}{2 \times g} \right) \times \gamma \times 10^{-5}$$

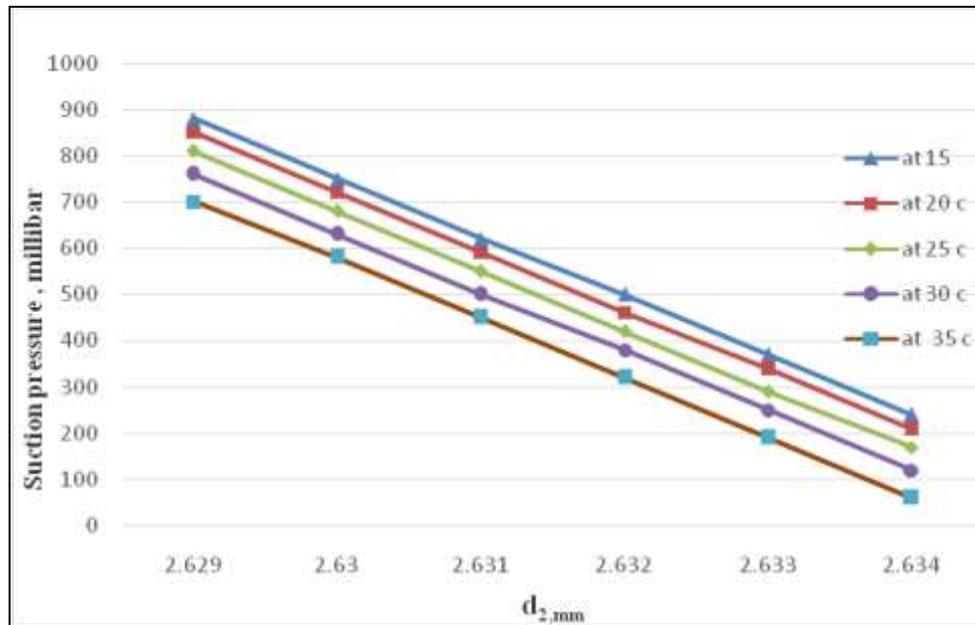
Finally, the suction pressure = 1 - P₂, Where

V₁ : the water velocity in the 3 mm nozzle	m/sec
V₂ : the water velocity at the mixing region	m/sec
d₁ : the inner diameter of the of the nozzle	mm
d₂ : the inner diameter at the mixing region	mm
P₁ : the pressure at 3 mm diameter	bar
P₂ : the pressure after diameter reduction	milli bar
Q : water flow at 35 bar pressure	l/min
g : gravitational acceleration	9.81 m/sec ²
γ : is the specific weight of water at 25 °C is	9777 N/m ³

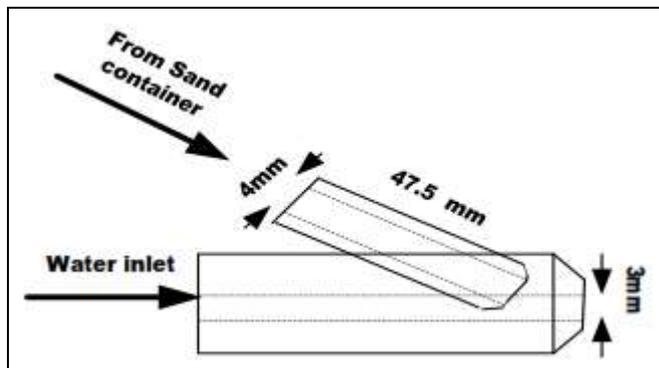
d ₂ ,mm	γ 9798N/m ³ @ 15 °C	γ 9789N/m ³ @ 20 °C	γ 9777N/m ³ @ 25 °C	γ 9764N/m ³ @ 30°C	γ 9748N/m ³ @ 35°C
	P ₂ ,millibar				
2.629	120	150	190	240	300
2.630	250	280	320	370	420
2.631	380	410	450	500	550
2.632	500	540	580	620	680
2.633	630	660	710	750	810
2.634	760	790	830	880	940

جدول رقم (٤) سحب الاجكتور عند درجات حرارة المياه المختلفة

ينخفض ضغط الامتصاص خطياً بسبب زيادة قطر الاختناق بالإضافة إلى حدوث انخفاض إضافي بسبب زيادة درجة حرارة الماء كما هو موضح في الرسم التالي



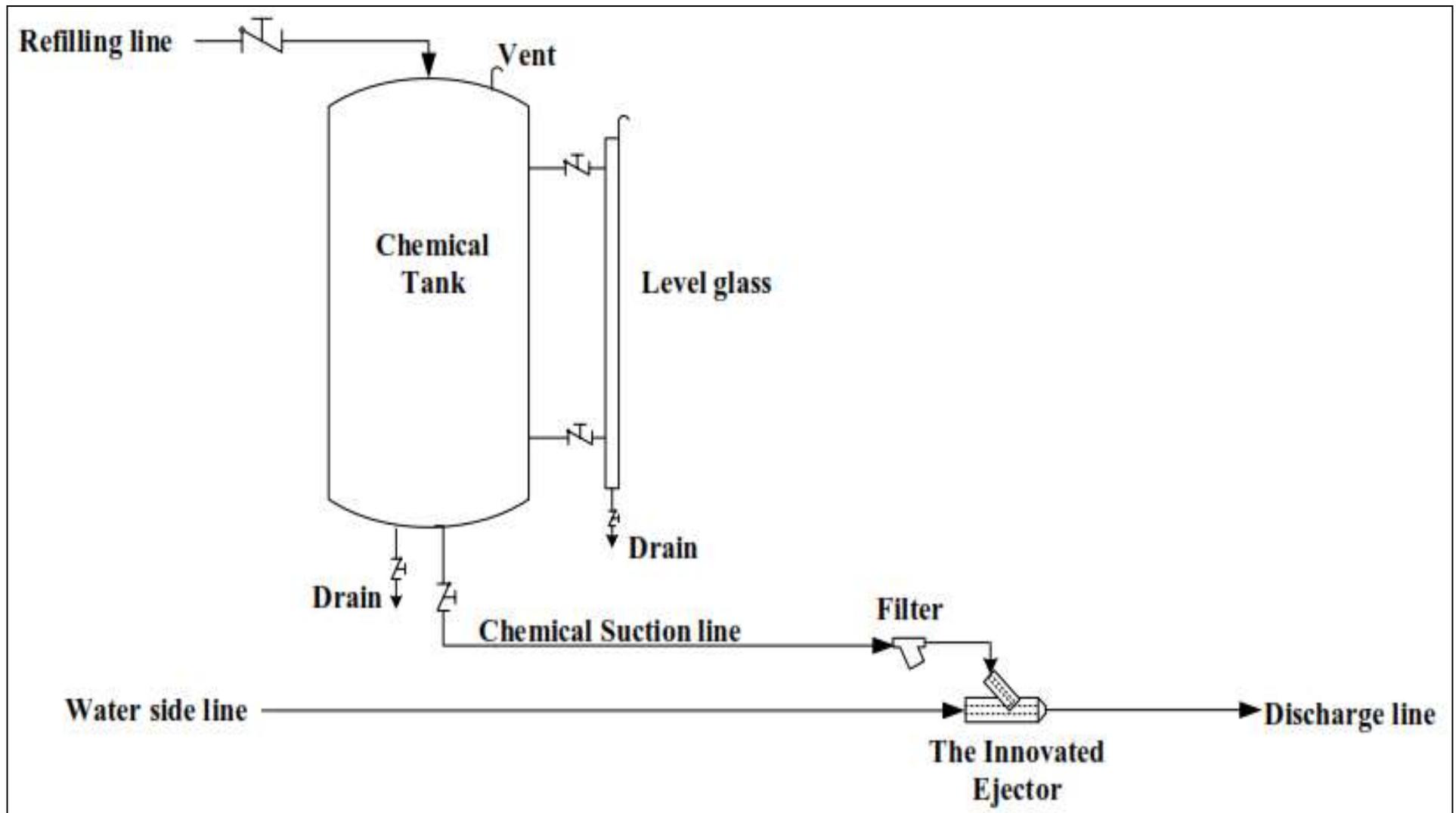
شكل رقم (١١) رسم بياني يوضح العلاقة بين سحب الاجكتور عند درجات الحرارة المختلفة وعند أقطار خنق مختلفة



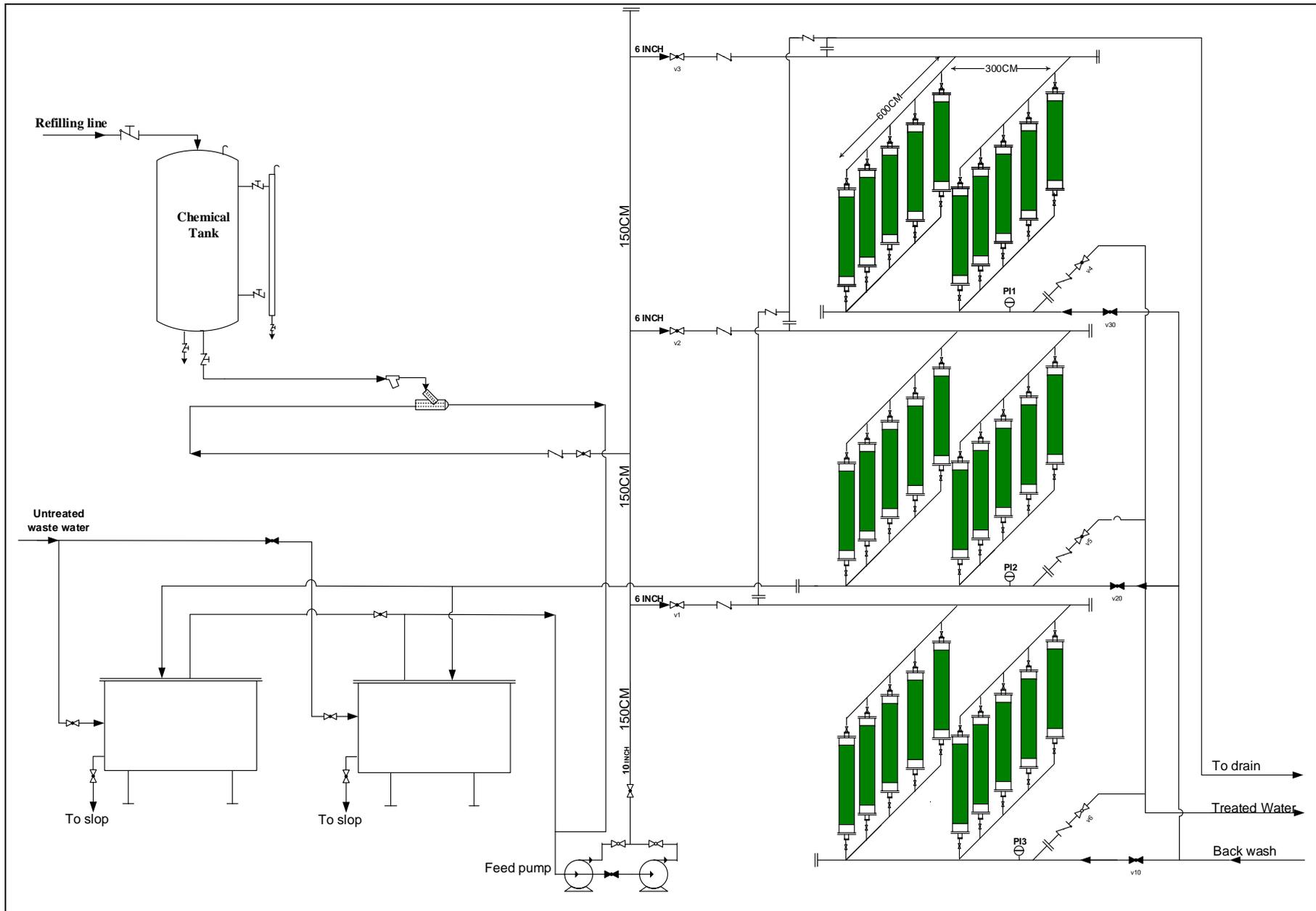
a

b

شكل رقم (١٢) رسم توضيحي وصورة فوتوغرافية لل ejector المبتكر المصمم والمصنع محلياً



شكل رقم (١٣) رسم توضيحي لوحدة إضافة الكيماويات



شكل رقم (١٤) رسم توضيحي لوحدة معالجة سعة ٣٥٠م^٣/ساعة بفلتر امتزاز قطر ٥٠ سم.

٨- حساب تكلفة الانشاءات والتشغيل والصيانة

لوقوف على مدى الجدوى الاقتصادية لوحة المعالجة محلية الصنع المبتكرة سيتم في هذه الفقرة من البحث عرض تكلفة الانشاء والصيانة لإحدى وحدات المعالجة التي تستخدم وسط معالجة حبيبات الفحم المنشط واستنباط التكلفة للوحدة المبتكرة منها في دراسة اقتصادية لوحة معالجة مياه صرف صناعي لمصفاة توليدو بالولايات المتحدة الأمريكية بواسطة مختبر اركون الوطني والذي يعمل لصالح وزارة الطاقة الأمريكية ببرنامج أبحاث موارد المياه قسم الطاقة والنظم البيئية - [١٦] كان متوسط تدفق مياه الصرف الصناعي من هذه المصفاة حوالي ١٣٥٦,٤٤ متر^٣/ساعة قدرت تكلفة رأس المال لوحة المعالجة بحوالي 31,581,757 دولار أمريكي (أساس ٢٠٢١) [١٧] بما في ذلك تكلفة شراء وسط الترشيح نفسه (الفحم في صورة حبيبات). بينما وصلت تكاليف التشغيل والصيانة السنوية لوحة المعالجة ليكون 3,836,254.63 دولار (أساس ٢٠٢١). يمكن تقدير التكلفة لوحة معالجة سعة ٣٥٠ متر^٣/ساعة من القانون التالي: [١٨]

$$\text{cost size 2} = \text{cost size 1} \left(\frac{\text{size 2}}{\text{size 1}} \right)^{\text{size exponent}}$$

يتراوح (Size Exponent) من ٠,٦٤ إلى ٠,٧٥ لذلك سيتم احتسابه على أقل تقدير وهو ٠,٦٤ لتكون التكلفة المقدرة للوحدة بكاملها بحوالي ١٣ مليون دولار (بتقدير ٢٠٢١).

جدول رقم (٥) يقدم قيمة تقديرية للمكونات الرئيسية لمحطة المعالجة لنفس الوحدة سعة ٣٥٠ متر^٣ / ساعة للوحدة المبتكرة محلية الصنع لتكون التكلفة لمحطة المعالجة على أقصى تقدير عشرة ملايين جنيه مصري وهي قيمة زهيدة جداً إذا قورنت بسعر محطات المعالجة المستوردة .

النوع	التكلفة بالجنيه المصري
مواسير قطر ١٠ بوصة	1800/متر
مواسير قطر ٦ بوصة	900/متر
مواسير قطر ٢٠ بوصة	٨٠٠٠/متر
فلانجة قطر ١٠ بوصة	٢٠٠٠
فلانجة قطر ٦ بوصة	١٢٠٠
فلانجة قطر ٢٠ بوصة	٥٠٠٠
بلف عدم رجوع قطر ١٠ بوصة	١٥٠٠٠
بلف عدم رجوع قطر ٦ بوصة	٦٠٠٠
بلف بوابة ١٠ بوصة	١٥٠٠٠
بلف بوابة ٦ بوصة	٦٠٠٠
تكلفة طن الفحم تصنيع محلي	٣٠٠٠٠
تكلفة مضخات سعة ٤٠٠ متر ^٣ /ساعة	٥٠٠٠٠٠
بلوف تحكم أوتوماتيكية on/off ٦ بوصة	١٠٠٠٠٠
لوحة تحكم PLC	500000
انشاءات خرسانية	١٠٠٠٠٠٠

جدول رقم (٥) تقدير تقريبي لتكلفة الوحدة سعة ٣٥٠ متر^٣/ساعة

تم تعيين أقطار الخطوط للوحدة المبتكرة سعة ٣٥٠م^٣/ساعة من على أساس كمية ١٥٠٠ جالون /دقيقة من Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants [١٩]

٩- الجدوى الاقتصادية ومناقشة نتائج البحث (المزايا والعيوب)

٩-١ مزايا الوحدة المبتكرة

- تعتبر هذه الدراسة دراسة عملية تم فيها استخدام نموذج تجريبي ذو سرعان عالٍ يصلح لأن يكون دليلاً استرشادياً لتطبيقه على المستوى الصناعي حيث كان معدل التدفق حوالي ٣٠٠٠ لتر/ساعة (يمكن مضاعفته إلى أربعة أضعاف بزيادة قطر الفلتر إلى الضعف) وكانت نتيجة المعالجة واعدة ومبشرة للغاية حيث انخفض محتوى الزيت من ٢٤ جزء في المليون إلى ٣ جزء في المليون.
- إن استخدام وحدة المعالجة محلية الصنع ذات التصميم المبتكر وهو الأنابيب المتوازية بخامات ومكونات ومواد فعالة محلية الصنع تتميز بانخفاض التكلفة وذات كفاءة عالية ومرونة في التشغيل والصيانة تضاهي مثيلاتها أجنبية الصنع بل وتفوقها كفاءةً.
- التصميم المبتكر للوحدة يضمن التوزيع المنتظم والكامل للمياه داخل أنابيب الفصل بما يحقق زمن البقاء الأطول ومساحة التلامس الأكبر والتي تكفي لحدوث الامتزاز الأمثل للملوثات على سطح المادة الفعالة داخل وحدة المعالجة وهو ما تم تحقيقه بالفعل باستخدام نموذج تجريبي بشركة القاهرة لتكرير البترول.
- تغلبت الوحدة المبتكرة على معظم مشاكل أوعية المعالجة التقليدية والمجمعات الرأسية الكبيرة الحجم لما لها من مشاكل في التشغيل والصيانة. فهي ذات مرونة كبيرة جداً للتعامل مع تغير كمية المياه المعالجة فهي ذات (High Turn Down Ratio) دون التأثير على كفاءة الفصل.
- تم استخدام الفحم النباتي محلي الصنع الذي يتميز بانخفاض سعره وتوفره بالسوق المحلي وله سعة امتزاز كبيرة وقدرة هائلة على تنقية المياه من الملوثات العضوية كما أن وزنه النوعي قليل فهو نصف وزن الفحم التخليقي والحجري مما يقلل تكلفة الإنشاءات والأساسات لوحدة المعالجة.
- عدم هروب المادة الفعالة من أوعية الفصل حيث تتميز بإحكام المادة الفعالة بداخلها فلا مجال للهروب سواء في وضع التشغيل أو في مرحلة الغسيل العكسي والتنشيط.
- تم أيضاً في هذه الدراسة الاستعاضة عن مضخات حقن الكيماويات بنظام الحقن بالسحب المعتمد على السريان بواسطة Ejectors تم تصميمها في هذه الدراسة وتصنيعها محلياً واختبارها بمعمل الهيدروليك بكلية الهندسة- جامعة طنطا حتى ضغط ٣٥ بار دون حدوث Positive Pressure ليكون إضافة جديدة يميز الوحدة المبتكرة لتجنب مشاكل مضخات حقن الكيماويات كثيرة الأعطال وسريعة التلف.
- تأتي أحد أهم مزايا الوحدة المبتكرة المبتكرة فالآن صار ممكناً التوسع دون الحاجة لمساحة أفقية حيث يمكن التوسع رأسياً قدر الحاجة تماماً وبأقل التكاليف سواء الإنشاءات أو المرافق المساعدة والكيماويات المستخدمة وهو امكانية التوسع المستقبلي وهو ما يعطيها أفضلية كبيرة عن الوحدات التقليدية ذات المجمعات الكبيرة والتي لا يمكن التوسع فيها إلا أفقياً وهو ما يصعب من امكانية التوسع خاصة أن هذه الوحدات غالباً ماتكون وسط مجموعة أخرى من المعدات والخطوط.

- تم وضع خارج الاجكتور ليكون على سحب طلبات تغذية الوحدة بما يزيد من خلط الكيماويات بمياه المعالجة ويعطى أطول زمن بقاء ممكن ليزيد من فاعلية الكيماويات المستخدمة بوحدة المعالجة.
- إمكانية الاستفادة من مخلفات وحدة المعالجة فالفحم المستهلك من الممكن عمل تجفيف له واستخدامه كوقود احتراق صلب ذو محتوى حراري عالي.

٢-٩ العيوب

- تم عمل نموذج تجريبي لكل مرحلة على حده واتمنى فى القريب العاجل أن ترى الوحدة كاملة النور عن طريق التمويل المطلوب لانشاء الوحدة كاملة.
- المعالجة الأولية لوحدة المعالجة المبتكرة من المتوقع أن تكون Run Length لها صغير نسبيا بسبب محتوى الملوثات الكبير وهي مشكلة عامة لكل وحدات المعالجة وحاليا يتم دراسة دعم هذه المرحلة بوحدة معالجة مساعدة تعتمد على تكنولوجيات أخرى لزيادة معدل سريان انتاج المياه المعالجة.

- [1] Beychock, Milton R, Aqueous wastes from petroleum and petrochemical plants John Wiley and Sons Inc.
- [2] Metcalf And Eddy, Waste Water Engineering-Treatment And Reuse,4th Edition, McGraw Hill.
- [3] <https://www.arab-oil-naturalgas.com/emulsion-treating-part2/>.
- [4] Ryan, J. "Process Selection for Oil Separation." Effluent and Water Treatment Journal. Vol 26, 1986 pp. 60 - 63.
- [5] Liliana San-Pedro, Jorge Medina, Emanuel Hernandez ,(Selection of the Activated Carbon Type for Treatment of Landfill Leachate by Fenton-Adsorption Process) Engineering Faculty, Autonomous University of Yucatan, Merida.
- [6] A. Bhatnagar, W. Hogland, M. Marques, M. Sillanpaa, An Overview of The Modification Methods of Activated Carbon for Its Water Treatment Applications, Chem Eng.J.219(2013) pages 499-511.
- [7] <https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/chapter6>.
- [8] Tyler, R. G., Danielson, W. A., and Lebasque, M., Jr. Head losses in rapid sand filters at Cambridge, Mass. J. New England Waterworks Assoc. 40:322-344. 1926.
- [9] Baylis, J. B. Discussion of rapid fine sand filtration. J. Amer. Water Works Assoc. 15:673-681. 1926.
- [10] Fair, G. M. and Hatch, L. P. Fundamental Factors Governing The Streamline Flow of Water through Sand. J. Amer. Water Works Assoc.
- [11] Fair, Gordon Maskew and Geyer, J. C. Water supply and waste water disposal. New York, N. T., John Wiley and Sons, Inc. 1551-1565. 1933.
- [12] Hulbert, R. and Feben, D. Hydraulics of rapid filter sand. J. Amer. Water Works Assoc. 25:19-65- 1933».
- [13] Fair, G. M. and Hatch, L. P. Fundamental Factors Governing The Streamline Flow of Water through Sand. J. Amer. Water Works Assoc.

- [14] Wood, G.H., Kehn, J., Carter, T.M., Coal Resources Classification System of the U.S. Geological Survey, U.S. Geological Survey, Circular 891, 65.
- [15] Standard Test Method for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction using Mid-IR Laser Spectroscopy.
- [16] W. Harrison, R. D. Flotard, and D. Ford Assessment of Activated Carbon for Environmental Control of Trace Organics in Refinery Wastewater.
- [17] https://www.bls.gov/data/inflation_calculator.htm.
- [18] Donald E. Garrett ,Equipment Cost Estimating ,Springer Dordrecht Science Business Media B.V. 1989. University of California Santa Barbara USA.
- [19] Ernest E. Ludwig Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume (1) third Edition Gulf Professional Publishing, February 1995.