"تأثير بعض العوامل التشغيلية على أداء تقنية التلبيد المثقّل لمعالجة المياه"

أ.م سعاد عبد عباوي*/ أ.م سهير نجيب خروفة * / أحمد يعسوب سليمان **
*استاذ مساعد / قسم الهندسة البيئة / كلية الهندسة / جامعة الموصل
** مهندس بيئة / قسم الهندسة المدنية / كلية الهندسة / جامعة الموصل

الملخص

تهدف الدراسة الى تطبيق تقنية التلبيد المثقّل Ballasted Flocculation (BF) على جهاز الجرة المعدل من اجل تقييم كفاءة التقنية لعدة مستويات من العكورة لمياه نهر دجلة، ولإيجاد القيم المثلى لكل من: المضافات الكيميائية وجرعة المثقّلات الوزنية Ballasted Agent (BA) والظروف التشغيلية وهي كل من: ازمنة المكوث والانحدار السرعي.

أظهرت نتائج دراسة 366 عينة لستة مستويات من العكورة الاولية المصنعة انه بالإمكان تبني تقنية التلبيد المثقّل بنجاح، وأنها تقلل ازمنة المعاملة بمرحلة التلبيد والترسيب وتزيد ثبات نوعية المياه المعاملة، ولكن التقنية لا تقلل من التراكيز الكيميائية المستخدمة. وتبين بأن استخدام الشب بتركيز 30-40 ملغم/لتر وبوليمر موجب بتركيز 0.2-0.4 ملغم/لتر وBA بتركيز 0.5-2.5 غم/لتر لمدى اقطار ما بين 75-212µm يحقق عكورة متبقية تقارب 1 NTU للمياه المروقة.

الكلمات الدالة: التلبيد المثقّل ، مقاومة اكفلوا، المثقّلات الوزنية، البوليمرات

"Effect of Some Operating Parameters on the Performance of Ballasted Flocculation Technique for Water Treatment"

Ass. Prof. Suaad Abbawi / Ass. Prof. Suhair Kharrufa, Ahmed Yasoob'

Abstract

The study aimed to apply the concept of Ballasted Flocculation (BF) at modified jar test for different turbidities for Tigris rivers raw water in order to find out the optimum values for each of :the additives chemicals, the ballasted agent doses and the operating conditions which are each of the detention time and velocity gradient

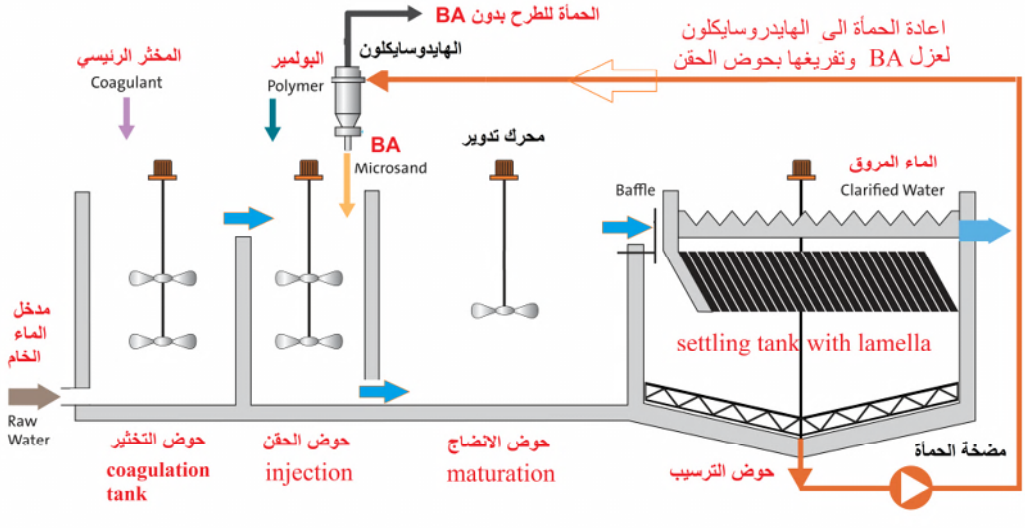
A study of 366 samples for six levels of initial synthetic turbidity of the Tigris River showed that it is possible to adopt BF technique successfully, and it reduces the time of the treatment phase and increase the stability of the quality of water treatment, but does not reduce the concentrations of the chemicals which are used. The study shows that the use of alum concentration of 30-40 mg/L with polymer concentration of 0.2-0.4 mg/L and BA concentration of 0.5-2.5 g/L for the range of diameters between 75-212 µm achieve a residual turbidity ~1 NTU for supernatant water.

أستلم: 28 – 4 - 2013 قبل: 17– 4 - 2014

المقدمة: -

من الأهداف الرئيسة لمحطات الاسالة هي إزالة العكورة من الماء الخام بوصفها من الخصائص النوعية المهمة لمياه الشرب فضلاً عن التعقيم وازالة الطعم والرائحة اللذين تسببهما الأحياء المجهرية والطحالب. ان الطاقة الانتاجية الحالية لغالبية مشاريع الاسالة لا تسد الطلب المائي للمدينة بسبب التوسع الحاصل في المناطق والاحياء السكنية مما ادى إلى عجز أو تردي في تجهيزات الماء إلى المدينة وخاصة في موسم الصيف وفترة سقوط الامطار. مما شجع هذا لاعتماد أساليب مساعدة لعمليات الترسيب في محطات الاسالة، وأهمها تقنيات التلبيد المثقّل (BF) التي تساعد على تقليل المساحة التي تشغلها أحواض الترسيب بعدة مرات.

بدأت فكرة اضافة حبيبات الرمل الناعم كمساعدات تلبيد في أوائل الستينيات على يد باحثين هنغاريين استعملا الحبيبات الرملية BA بأقطار أقل من 200µm وتم اعادة تدويرها لاستخدامها من جديد، حيث اطلق عليها تجاريا في انكلترا Simtafier وسميت Cyclofloc في فرنسا ومعروفة عالميا باسم اكتفلوا Actiflo كما موضح بالشكل (1) . [1]

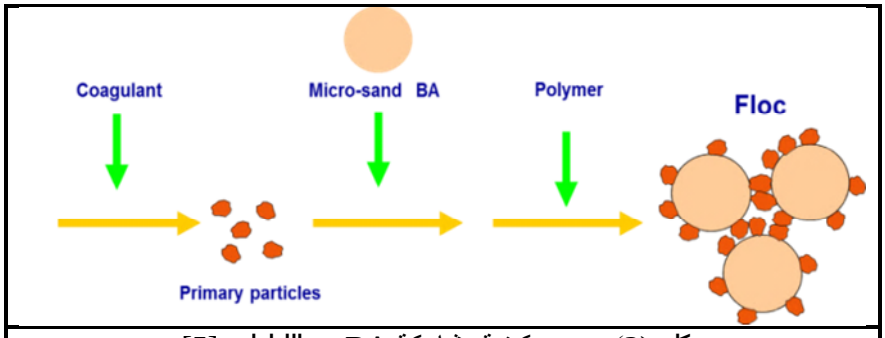


$D_{t\ coagulation}$	$D_{t\ injection}$	$D_{t\ maturation}$	SOR-lamella
حوض التخثير	حوض الحقن	حوض الانضاج	حوض الترسيب
45-120sec	45-120sec	3-6 min	20-60 m/hr

شكل (1) المنظومة اكتفلوا موضح عليها احواض التقنية [2]

يقصد بالتلبيد المثقّل اضافة حبيبات الرمل الناعمة BA اثناء عمليات التلبيد (اي بعد انتقال الجسيمات الى حالة عدم الاستقرارية بفعل المخثرات وإضافة البوليمر) ليساعد في المشاركة بتكوين لبادة ذات مواصفات تختلف فيزيائيا عن اللبادة التقليدية وكما موضحة بالشكل (2). والذي يؤدي بدوره بتحسين واضح لأداء حوض الترسيب لنقله إلى طور الحمل الهيدروليكي السريع HRC. وهذا مفيد عمليا بتنفيذ محطات اسالة اقل مساحة من المحطات التقليدية وبالتالي تقليل الكلف الانشائية عند تبني هذه التقنية.

حيث تَ عمل هذه التقنية المياه المتغايرة العكورة أيضا بوقت قصير (لا يتجاوز 30 دقيقة)، وكذلك المياه ذات التراكيز العضوية بحالتها العالقة والذائبة وحتى المياه الحاوية على الطحالب بالاستفادة من اللبادات السريعة الترسيب. [3]،[4]



شكل (2) يوضح كيفية مشاركة BA مع اللبادات [5]

تتفاوت كميات التصاريف للمحطات للشركات المصنعة ما بين 25-40000 m^3/hr. ولصغر المساحة التي تحتجزها المحطة وخاصة عند تزويدها بصفائح انبوبية لحوض الترسيب فقد تم انشاء محطات منقولة Actiflo Pilot تختلف عن المحطة الموسعة Actiflo-Full-Scale. بإمكان الاولى اجراء الفحوصات اللازمة وتهيئة المعلومات التصميمية التكميلية. أو قد تعمل في حالة اجراء عمليات الصيانة داخل المحطة أو تعرض المحطة الى تغيرات مفاجئة بنوعية المياه.[3],[6],[5]

هدف البحث الى تقييم كفاءة ازالة العكورة لمياه نهر دجلة بتقنية التلبيد المثقّل باستخدام جهاز فحص الجرة المعدل، وايجاد العوامل المؤثرة على فعاليات التلبيد المثقّل. ومن ثم ايجاد القيم المثلى لكل من: الجرع الكيمياوية، المثقّلات الوزنية BA، الظروف التشغيلية. وأخيرا تقييم صلاحية اختيار رمل محلي كمثقل وزني BA.

ان فكرة التلبيد المثقل قد تم دراستها مختبريا وموقعيا بشكل محطات بسيطة منذ عام 1977 واستمرت دراستها من قبل عدة باحثين منهم (Mirzadeh et al.,1977; Novak et al.,1977) وآخرون غيرهم. الدراسات السابقة تناولت لاستعمال هذه التقنية لمعالجة المياه السطحية بمحطات الاسالة فضلا عن معالجة مياه المطروحات المدنية Wastewater والصناعية وكذلك والمطوحات الممزوجة مع مياه الامطار (Wet Weather Flow, WWF).[7]

أوضح الباحثون[8] امكانية تعديل فحص الجرة التقليدي ليصبح اكثر ملاءمة للتنبؤ بكفاءة محطة اسالة مياه معتمدة على تقنية التلبيد المثقّل. وتم الاعتماد على المعادلات الاحصائية لتقليل التجارب المختبرية لتشخيص العوامل الرئيسية المتحكمة، وربطها إحصائيا مع النتائج المستحصلة من ثلاثة مواقع حقلية تعمل على مبدأ التلبيد المثقّل بمعالجة المياه لإنتاج ماء صالح للشرب بدرجة ثقة جيدة. ووصولا إلى العوامل الرئيسية وهي تركيز المخثر، تركيز البوليمر، الاس الهيدروجيني، وكمية الحبيبات الرملية المضافة BA, Ballasted Agent .

قسمت الدراسة الى ثلاث مستويات اولها: التحقق من امكانية تمثيل المحطة اكتفلوا في موديل مختبري معتمد على فحص الجرة المعدل. وتشخيص العوامل الاكثر تأثيرا على أداء التلبيد المثقّل BF. ودراسة تأثير تركيز كل من BA والبوليمرات على اداء العمليات الفيزيائية والتفاعلات والكيميائية.

واستنتجوا من البحث بأن كلا من BA والبوليمر لهما علاقة وثيقة على نوعية المياه الرائقة والمرشحة حيث ان اضافة تركيز BA لغاية 5 غم/لتر يزيد كفاءة الترشيح. وانه بالإمكان تمثيل المنظومة اكتفلوا بموديل مختبري على فحص الجرة بنسبة تفاوت 7%.

اهتم الباحثان [7] بإيجاد العوامل المؤثرة على تفاعلات التلبيد المثقّل بتبني فحص الجرة المختبري. وقد استنتجوا بأن معدل التفاعلات الكيميائية لتكوين اللبادة متشابه بصورة جوهرية في حالتي اضافة وعدم اضافة BA. ولم يشارك BA المضاف في التفاعلات الكيماوية الحاصلة، ولكنه ببساطة اندمج مع اللبادة المتكونة نتيجة حركية التلبيد والانحدار السرعي في الوسط المائي. وكذلك تبين بان معدل تجمع وتكون اللبادات في مرحلة التلبيد متساوي تقريبا في الحالتين. ولوحظ ازدياد مقاومة القص للبادة مما يعطي سببا لزيادة تكورها (نقصان عامل الشكل Φ) وازدياد خشونتها مقارنة مع الاخرى. واظهرت خصائص التخثير بأنها لم تتغير نتيجة اعادة استخدام BA مجددا.

أجرى الباحثون [9] بحثا تكميليا لما توصل اليه الباحثان [7] اذ درسوا آلية تكون اللبادات المثقلة في المحلول المائي بموديل مختبري وبمساعدة المجهر وأجهزة الطرد المركزي ومقايس الكتلة والصور الملتقطة على فترات زمنية تحت ظروف مسيطر عليها. وتوصلوا الى أنه عند إضافة BA الى الماء المضاف اليه أحد المخثرات فإن عدد الجزيئات الملبدة تزداد في الماء اثناء المزج السريع، وأن الكثافة الكلية للبادات المثقّلة هي ذات علاقة خطية مع زيادة تركيز BA لحد 7 غم/لتر. كذلك فإن زيادة BA عن حد معين لن يسهم في تكون الملبدات المثقّلة إذ أن اللبادات تناقصت روابطها المائية بزيادة تركيز BA المضاف.

الدراسة الموسعة للتلبيد المثقّل [10] وضّحت كفاءة منظومة اكتفلوا (بسعة 80-120 $م^3$/ساعة). حيث تم اجراء الفحوصات على ثلاثة أنواع للمياه وهي مياه سطحية، مياه صرف صحي، مياه صرف صحي مشتركة CSO. وتم ايجاد كفاءة ازالة العكورة للمياه السطحية. وتوصل إلى أن منظومة اكتفلوا المعتمد عملها على تقنية التلبيد المثقّل مناسبة لمعالجة العديد من المياه وبنسبة ازالة عكورة ما بين الى 90-99%، وهي ليست حساسة لتغاير نوعية المياه الداخلة.

قام الباحثون [11] في دراستهم التي استمرت على مدار سنة (2000-2001) على تمييز الافضلية ما بين المحطة التقليدية والمحطة ذات منظومة اكتفلوا في محطة الاسالة لتنقية مياه الشرب. وذلك بعمل فحص الجرة المعدل ليقابل منظومة اكتفوا الحقلية والمنظومة التقليدية. واستنتج الباحثون بأنه لا يوجد فرق معنوي في نسبة ازالة المواد العضوية بين الوحدتين التقليدية والمطورة بالتلبيد المثقّل. وامكانية تبني نموذج عملي مختبري بفحوصات الجرة يحاكي الواقع لمعرفة تراكيز المواد الكيميائية الملائمة.

قامت الباحثة [12] بإنجاز بحثها على مرحلتين اولهما بعرض عمليات التلبيد من حيث التداخلات والتجاذبات المختلفة بين جسميات الغرويات في الوسط المائي والعمليات الحركية للتلبيد. وثانيهما دراسة عمليات التلبيد بوجود المثقّلات الوزينة BA على نماذج لمياه سطحية مصنعة بجهاز فحص الجرة واعتماد العكورة المتبقية وقيمة جهد زيتا وتأثرها بالمخثرات والبوليمرات وBA.

واستنتجت الدراسة بأن نظرية DLVO (التي تمثل تفسير نوعي لكيفية فك استقرار الجسيمات في الاوساط المائية) طبقت بنجاح على التلبيد المثقّل، وتم رصد نفس نوع التصرف لحالة التلبيد التقليدي. وتحققت أكبر ازالة للعكورة عند جهد زيتا عند 20mV-عند استخدام البوليمرات السالبة والمتعادلة و20 mV+ عند استخدام البوليمر الموجب مع كل من المخثرات الرئيسية وBA .

اما الباحثون [13] فقد تبنوا استخدام منظومة اكتفلوا لمعالجة مياه الشرب باستبدال محطة اسالة تقليدية في هونكوك بتصريف 1227 مليون لتر باليوم باستغلال المساحات المتوفرة ومتوافقة مع تغاير عكورة الماء الخام (110 إلى 400 NTU) للنهر المزود. حيث تم تطبيق فحص الجرة على المياه لتقدير التراكيز الكيمائية اللازمة للمنظومة التجريبية Pilot-Scaleوالتي اجري عليها لاحقا 40 فحص تجريبي لمدة اربعة أشهر بهدف انشاء محطة موقعية Full-Scale بحيث تلبي حاجة المحطة من الحمل الهيدروليكي ونوعية المياه المعالجة.

المواد وطرائق العمل

المواد الكيمياوية المستخدمة: -

الشب $Al_2(SO4)_3.14H_2O$ (Alum)، كلوريد الحديديك $FeCl_3.6H_2O$ (Ferric Chloride)، البوليمر (مساعدات التخثير) باستخدام بوليمر موجب بنوعين 444kPrestol و LT22 و بوليمر سالب N672Prestol. وطين البنتونايت لمعايرة العكورة المصنعة. وأخيرا تم استخدم هيدروكسيد الصوديوم NaOH وحامض الهيدروكلوريك المخففHCL لتعديل قيمة pH لدراسة تأثيره[17]. أما حبيبات الرمل الناعمة (BA) فتم اختيار حبيبات رمل من جنوب العراق وفق خصائص تتطابق مع الحبيبات التجارية المستخدمة كمثقلات وزنية في البحوث السابقة [7]. حيث تم في البدء غسل نموذج الرمل بالماء عدة مرات وجفف في الفرن الحراري، ثم فحصت كثافته النوعية حسب طريقة ASTM-C138Mوتبين أنها تبلغ 2.64، ومن ثم تمت عملية النخل اليدوية لعزل الدقائق وتقسيمها الى مجاميع مرمزة حسب الجدول (1).

جدول (1) توزيع اقطار حبيبات الرمل المستخدمة بالبحث (الكثافة نسبية 2.64) [7]			
Sieves Number According ASTM E11	Sieves Opening Diameter µm	Location On Sieves	الترميز المستخدم لمجاميع حبيبات الرمل
#50	300 µm	Pass #50	Group 3 (G3)
#70	212 µm	Over #70	
		Pass #70	Group 2 (G2)
#100	150 µm	Over #100	
		Pass #100	Group 1 (G1)
#200	75 µm	Over #200	
		Pass #200	Group 0 (G0)

طريقة العمل

استخدم بالدراسة جهاز فحص الجرة الموضح بالشكل (3) والذي عدلت فيه كيفية اضافة الجرع (جرعة الشب، البوليمر،BA) واستعملت ازمنة وكثافة مزج (بتجهيزه مروحة اضافية رباعية الرفاسات) تختلف عن الظروف التقليدية وصولا إلى الظروف المثلى للتلبيد المثقّل. حيث تم اقتراح قيم اولية للظروف التشغيلية لأزمنة وقيم الانحدار السرعي معتمدة على المراجع لكل مرحلة وهي موضحة بالجدول (2). كما أن الجدول (3) يدرج قيم العوامل لحساب قيمة الانحدار السرعي (G)لفحص الجرة المعدل.

جدول (2) القيم الاولية للظروف التشغيلية المتبعة في فحص الجرة المعدل	
زمن وقيمة الانحدار السرعي لمرحلة التخثير والحقن	المرجع
$G.t.C^{1.46} = 5.9 \times 10^6$	[14],[15]
Applied $G.t.C^{1.46} = 366\frac{1}{s} \times 120s \times (30\frac{mg}{L})^{1.46} = 6.3 \times 10^6$ C= Coagulant Dose, t =HRT, G=Gradient Velocity	[5]
زمن وقيمة الانحدار السرعي لمرحلة التلبيد المثقّل	
Used G = (186 1/s) ~ 160 RPM	[4]
Used HRT=6 min	[6]
Limit G= (200-400) 1/s	[5]

خطوات فحص الجرة المعدل المتبعة

تم إجراء تغيير قيم العوامل المؤثرة ضمن المديات الموضحة بالجدول (4)، واتباع الخطوات العملية في الفحص التالية: -

- معايرة نماذج مياه نهر دجلة (المأخوذة من قرب فندق نينوى) للعكورة المطلوبة.
- قراءة درجة الحرارة الاولية وقيمة pH والتوصيل الكهربائي للمياه الخام وللمياه المروقة.
- بدء تشغيل جهاز الجرة المعدل بسرعة تدوير 160 دورة بالدقيقة (G=366 1/s) ، ويتبعها بقليل اضافة محلول الشب (أو كلوريد الحديديك) حسب التركيز المطلوب بآن واحد ولمدة 120 ثانية.[5]
- اضافة محلول البوليمر ويتبعه اضافة BA الجاف (أو طاقة BA ويتبعه البوليمر) ولمدة 120 ثانية أخرى مع استمرار المزج بمعدل 160 دورة بالدقيقة (G=366 1/s).
- الانتقال إلى مرحلة الانضاج بتقليل سرعة التدوير إلى ما يقارب 100 دورة بالدقيقة (G=184 1/s).
- الانتقال إلى مرحلة الترسيب بتوقيف تدوير المرواح تدريجيا، وأخذ 25 ملليتر باستخدام الماصة بعد مرور (8،6،3) دقيقة ومن الثلث العلوي من الدورق بهدوء تام.

شكل (3) صورة جهاز الجرة وبعض التعديلات التشغيلية وابعاد المروحة المضافة الرباعية الرفاسات لملائمة عملية التلبيد المثقل

جدول (3) عوامل الظروف التشغيلية والمعادلات الهيدروليكية لحساب قيمة الانحدار السرعي G في مراحل التلبيد المثقل لفحص الجرة المعدل

Parameter	Value		Parameter	Value
Coagulation Mode, RPM	160		Temp, C	25
Injection Mode, RPM	160		Dynamic Viscosity, kg/m.s	0.00089
Flocculation Mode, RPM	100		Water Density, kg/m^3	997.6
Drag Coefficient C_D,	1.33		Relative Velocity	0.75v
$P = 0.5 \times (C_D A_p \rho v_p^3)$ [16]			$G = \sqrt[2]{p/\mu V}$ [16]	

جدول (4) مديات قيم المضافات والظروف التشغيلية المتبعة بفحص الجرة المعدل

Parameter	Material	Value range
Coagulant Dose	Alum	5-50 mg/L
	Ferric Chloride	10-60
Ballasted Agent	Microsand	0.5-4.0 g/L
Coagulation aids	+ve 444kPrestol	0.0-1.25 mg/L
	+ve LT22	
	-ve N672 Prestol	
Coagulation Period	0.5-3.0 min	
Injection Period	1.0-3.0 min	
Maturation Period	4.0-8.0 min	
Settling Period	3-6-8 min	
Coagulant Dose	$FeCl_3$	10-50 mg/L
تم تثبيت كل المتغيرات (Parameters) ماعدا المتغير المطلوب ايجاد قيمه المثلى		

تضمنت الدراسة البحثية تطبيق فحص الجرة المعدل بعدد (366) لمعاملة مياه نهر دجلة بستة مستويات لـ العكورة المصنعة (350،250،150،80،30،15) NTU، لإيجاد القيم المثلى للعكورة المتبقية في المياه المروقة باستخدام جرع مختلفة لكل من (الشب، البوليمر، BA)، فضلاعن تغيير كل من زمن المكوث لفترات المزج وقيمة الانحدار السرعي(G).

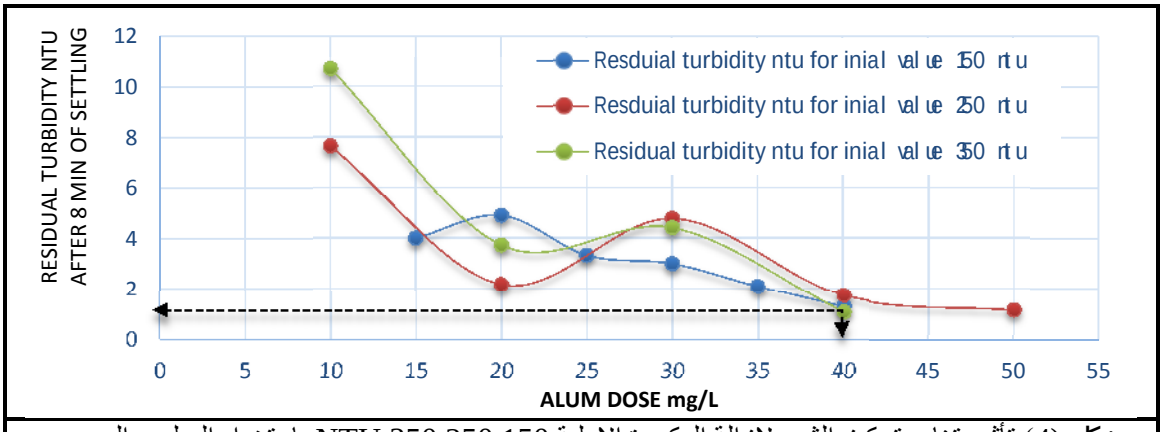
النتائج والمناقشة

سيتم عرض تأثيرات العوامل المدروسة على التلبيد المثقل كل منها على حدا، وانتقاء القيم المثلى له على اساس العكورة المتبقية.

تأثير تركيز الشب على التلبيد المثقّل BF لعكورة اولية متغيرة: -

إن الدراسة المختبرية الموضحة نتائجها بالشكل (4) لتأثير تغاير جرعة الشب على العكورة المتبقية والتي تبين بأن اضافة الشب بتركيز 40 ملغم/لتر لمعاملة العكورات الاولية المرتفعة (350,250,150) NTUتحقق نتائج متميزة (وصولا إلى 1 NTU عكورة متبقية) لدى اضافة BA بتركيز يقارب 1.0 غم/لتر وبوليمر موجب 0.2 ملغم/لتر.

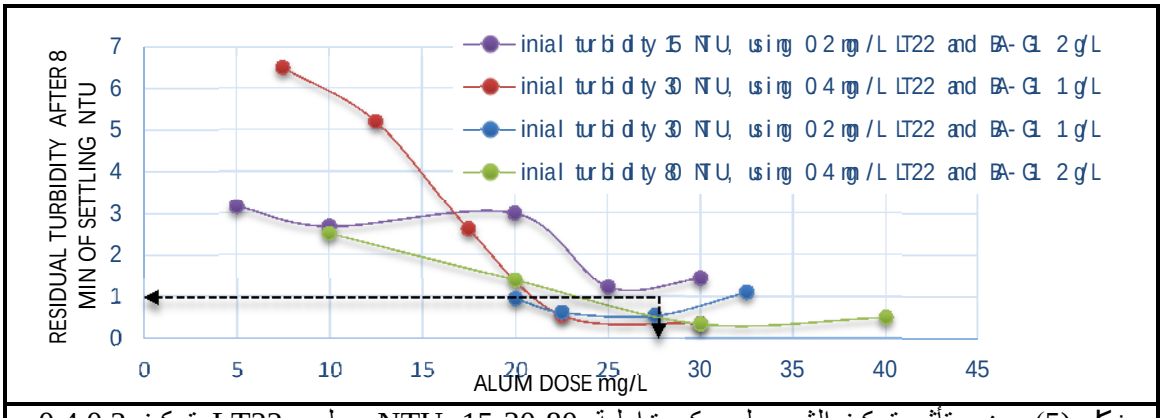
أما بالنسبة للعكورة الوطئة والمتوسطة الواقعة ما بين 15–80 NTU فإن تركيز 27 ملغم/لتر للشب ووجود BA والبوليمر كافية للوصول الى عكورة للماء المروق يقارب 1 NTU. والنتائج موضحة بالشكل (5).



شكل (4) تأثير تغاير تركيز الشب لإزالة العكورة الاولية NTU 350,250,150 باستخدام البوليمر الموجب LT22 بتركيز 0.2 ملغم/لتر وBA-G1 بتركيز 1 غم/لتر

ولوحظ من الشكلين (4) و (5) أن قيمة 10 ملغم/لتر من الشب ليست كافية لخفض قيمة العكورة مقارنة مع النتائج المتوقعة، ويعزى ذلك الى ان الدقائق لم يتم تجميعها بشكل يمكنها من الترسب بعد مرور 8 دقيقة بسبب النقص في قيمة الشب لإكمال تكوين اللبادات المثقّلة. وهذا يدل الى اهمية فك استقرارية الجسيمات مسبقا بفعل المخثر قبل اضافة مساعدات التخثير والتلبيد.

ويمكن مقارنة جرعة الشب المثلى وهي 27 ملغم/لتر المستحصلة بتقنية التلبيد المثقّل مع الجرع المثلى للتلبيد التقليدي وهي 20 ملغم/لتر من دون أي مضافات أخرى لعكورة اولية تقارب 15 NTU لمياه نهر دجلة تحت ظروف تشغيلية تقليدية بعد مرور 30 دقيقة ترسيب. فيلاحظ ازدياد قيمة الشب المستخدمة بنسبة لا تقل عن 25%، كما أكدت المراجع ومنظمة EPA بأن فعالية ميكانيكية الاصطياد في تلبيد المثقّل تتحقق عند تركيز يقارب 30 mg/L للشب لقيمة pH اعلى من 7. [11]،[7]

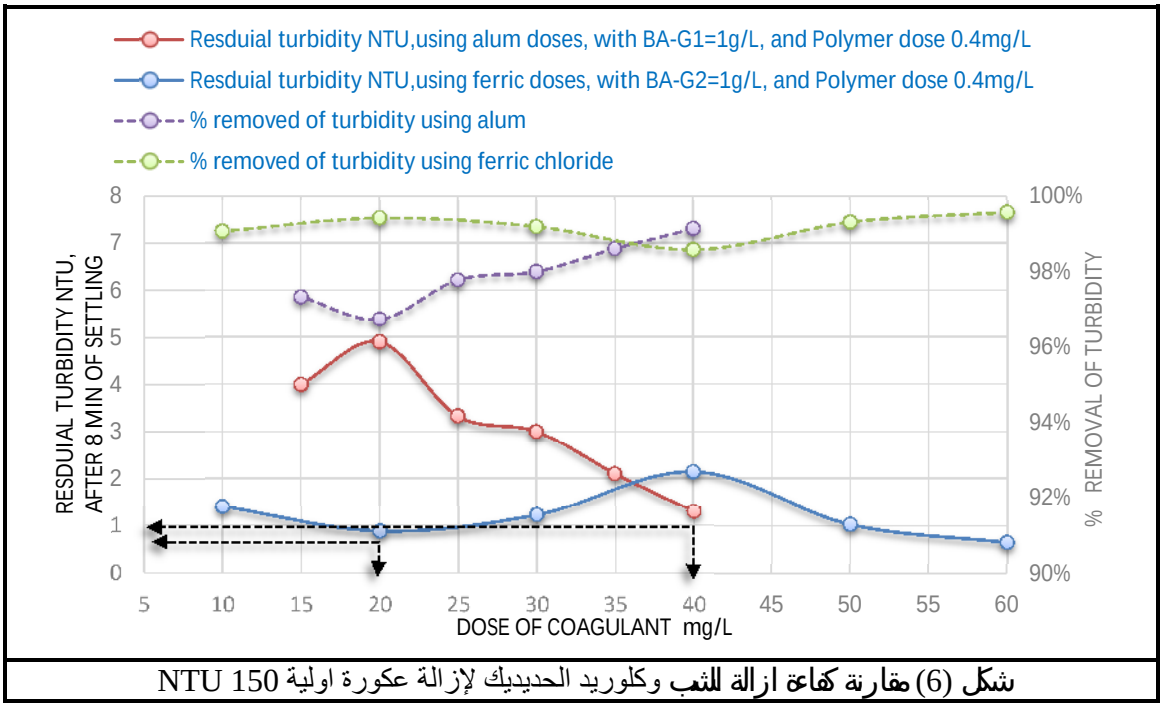


شكل (5) يوضح تأثير تركيز الشب على عكورة اولية ،15،30،80 NTU وبوليمر LT22 بتركيز،0.2 0.4 ملغم/لتر وتركيز BA-G1 1 و 2 غم/لتر

تأثير تركيز كلوريد الحديديك $FeCl_3$ على التلبيد المثقّل: -

يعتبر الحديد مخثر مكافئ للألمنيوم باستخدامه في محطات الاسالة، ومركب كلوريد الحديديك يستخدم بشكل واسع كونه يختلف عن الشب من ناحية مديات ذوبانيته على خط قيمة pH. ولهذا تم استخدامه في الدراسة بإضافته بتراكيز ما بين 10 الى 60 ملغم/لتر.[18]

نتائج الدراسة المبينة بالشكل (6) توضح بأن استخدام كلوريد الحديديك يعطى كفاءة اعلى نسبيا مقارنة بالشب للعكورة الاولية 150 وحدة، وباستخدام جرعة البوليمر بتركيز 0.4 ملغم/لتر وتركيز 1 غم/لتر لجرعة BA-G1. كما ويلاحظ وصول العكورة المتبقية إلى ما دون 1 وحدة عند تركيز 20 ملغم/لتر من كلوريد الحديديك.



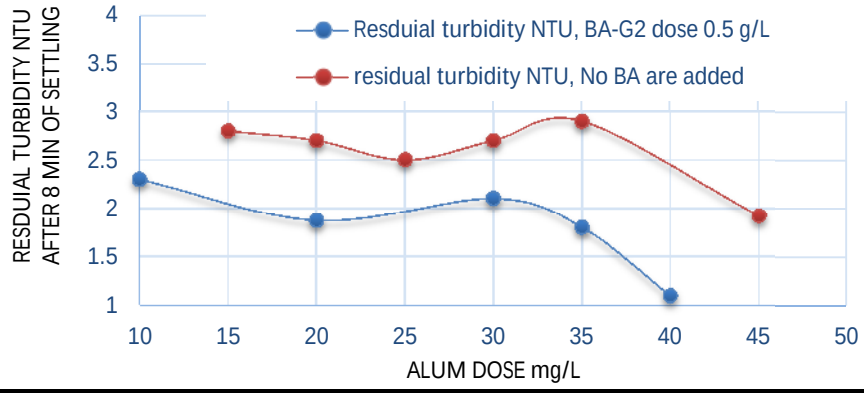
شكل (6) مقارنة كفاءة ازالة الشب وكلوريد الحديديك لإزالة عكورة اولية 150 NTU

ويلاحظ ارتفاع نسبي للعكورة عند قيمة 40 ملغم/لتر من تركيز كلوريد الحديديك وانخفاضها التدريجي برفع التركيز من جديد وهذا يمكن تفسيره بعودة حالة التنافر بين الجسيمات العالقة Restabilization ولكن بشحنات تنافريه موجبة كما هو الحال في التخثير باستخدام الالمنيوم.

من الجدير بالذكر فأن قيم الدالة الحامضية pH لمياه نهر دجلة تتراوح ما بين 7.6-8.1 [19] وهذه تتوافق مع الظروف المثلى لفعالية الحديد كمخثر. حيث يقع الحد الادنى لذوبانيته على خط قيمة pH ما بين 5-8.5.

تأثير تركيز حبيبات الرمل BA على التلبيد المثقّل: -

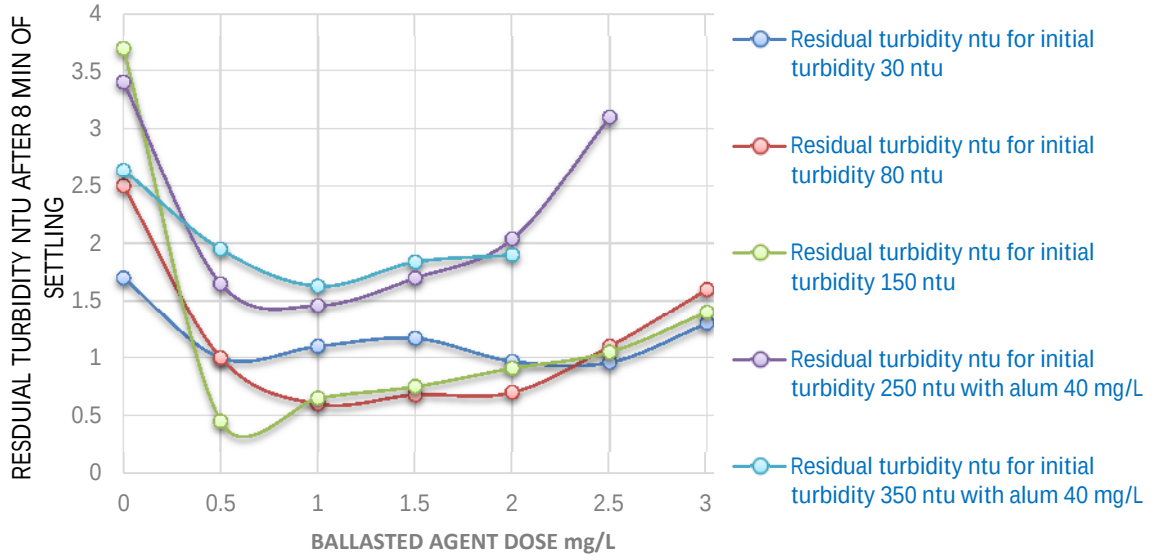
اثبت في الجزء العملي بأن إضافة BA كمساعد وزني والذي تم عزله منخلياً من نموذج رملي محلي من جنوب العراق زاد من كفاءة ازالة العكورة مقارنة بالتلبيد التقليدي المضاف اليه (الشب والبوليمر فقط) والشكل (7) يوضح نتائج الدراسة التي اجريت على عكورة اولية 150 NTU وباستخدام BA-G2 بتركيز 0.5 غم/لتر وبوليمر موجب الشحنة بتركيز 0.2 ملغم/لتر.



شكل (7) تأثير اضافة BA لإزالة عكورة اولية 150 NTU باستخدام البوليمر الموجب LT22 بتركيز 0.2 **ملغم/لتر**

تبين النتائج الموضحة بالشكل (8) بأن اضافة BA بتركيز 1.0-2.0 غم/لتر يعطي كفاءة عالية للإزالة عند عكوره اولية (30،80،150) NTU، وفي العكورات المرتفعة (250،350) NTU فإن تركيز BA الكفوء يكون بين 0.5-1.5 غم/لتر. وهذا يظهر تحت ظروف تركيز الشب الامثل مع البوليمر الموجب. والجدول (5) يدرج معادلة المنحنيات لمستويات عكورة أولية (30،80،150،250،350) NTU لإيجاد قيم العكورة المتبقية معتمدة على تركيز BA.

ويعزى سبب انخفاض BA **لدى العكورات المرتفعة** بأنه في الوسط المائي عالي العكورة يسهل تكوين اللبادات **للنسب** العالية للمواد العالقة المنتشرة فيه. فإضافة كمية محدودة لا تتجاوز 1.5 غم/لتر من BA لتحويل اللبادات إلى طور التلبيد **المثقّل** كافي للحصول على عكوره متبقية بحدود 1 NTU، وفي نفس الوقت لا يزيد عبئ الشب والبوليمر من الربط والتجسير وهذا ما أشار اليه الدراستين [24] **و** [5]. تم ملاحظة ارتفاع العكورة اثناء عملية التخثير بعد اضافة BA مباشرة ويتبعها انخفاض ملحوظ مرئيا عند تكون اللبادات بمشاركة BA والبوليمر عند التراكيز المثلى للعكورة الداخلة.



شكل (8) تأثير تركيز BA-G1 على ازالة عكورة اولية 350,250,150,80,30 NTU **باستخدام** الشب بتركيز 30 **ملغم/لتر** وبوليمر الموجب 0.4 **ملغم/لتر**, 40

ويلاحظ بالشكل ان العكورة تعود بالازدياد عند رفع قيمة جرعة BA ما فوق 2.5 غم/لتر وهذه ما يمكن تفسيره بان اللبادات المثقّلة قد اكتفت من حمل المزيد من الحبيبات الرملية أو الدقائق العالقة في تركيبتها تاركة اياها في الوسط المائي وهذا ما اشار اليه ايضا الباحث [7]. كما ويمكن زيادة كمية BA المضاف والمشارك باللبادة بزيادة بينية في تركيز المخثرات والبوليمرات المستخدمة.

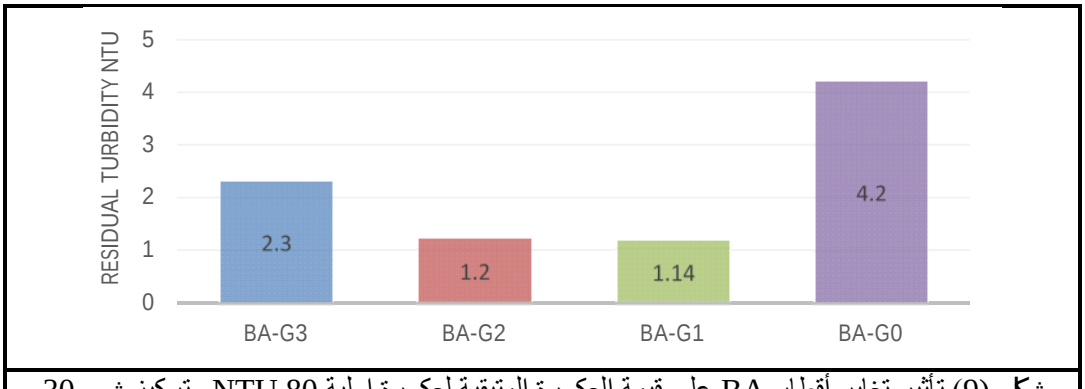
جدول (5) معادلة منحنيات لقيم العكورة المتبقية للمياه المعاملة بالتلبيد المثقل لمستويات العكورة أولية مختلفة

Initial Tur.	Equations (2nd order), For Alum dose 30-40 mg/L, +ve Polymer dose 0.4mg/L	xValue
30 NTU	Residual Turbidity (NTU) = $0.1957x^2 - 0.6879x + 1.5671$	Sand Dose in mg/L
80 NTU	Residual Turbidity (NTU) = $0.661x^2 - 2.1543x + 2.2519$	
150 NTU	Residual Turbidity (NTU) = $0.8462x^2 - 2.925x + 2.9088$	
250 NTU	Residual Turbidity (NTU) = $1.155x^2 - 2.8926x + 3.1939$	
350 NTU	Residual Turbidity (NTU) = $0.58x^2 - 1.478x + 2.6$	

تأثير تغاير اقطار الحبيبات الرملية BA على التلبيد المثقّل: -

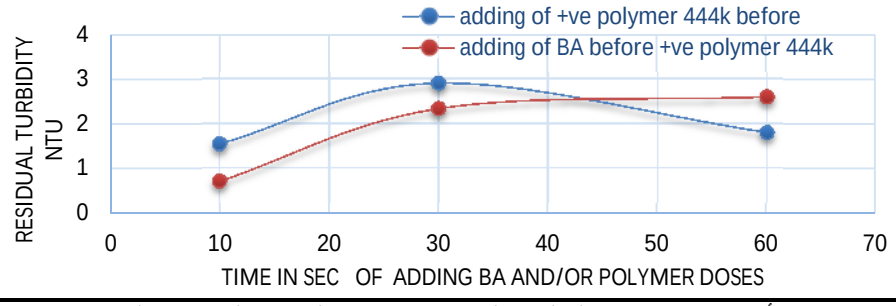
تم اجراء عزل منخلي وتقسيم النموذج الرملي إلى 4 مجاميع (G0,G1,G2,G3) وكما موضح بالجدول (1). لمعرفة أفضل مجموعة للأقطار الفعالة لتحقيق اعلى نسبة لإزالة العكورة.

وتم التوصل بالدراسة بأن المجموعة BA-G0 رفعت عكوره الوسط المائي كثيرا ولم تعطي نتائج ايجابية على اساس العكورة المتبقية للمياه المروقة. في حين ان المجموعة BA-G3 شاركت باللبادة المتكونة ولكن ذلك استوجب استخدام مزج عالي تجنبا لترسيبها بسبب كبر حجمها مقارنة مع الحجوم الاخرى المستخدمة، وهذا قاد بزيادة احتمالية تكسر اللبادات المتكونة بمرحلة التلبيد. في حين تم الحصول على اعلى كفاءة باستخدام المجموعتين BA-G1,BA-G2 بسب مشاركتها بتكون اللبادات نظرا لملائمة حجمها ولانتشارها المتجانس اثناء مراحل المزج كما موضح بالشكل (9). وهذا ما اتفق مع نتائج عدة باحثين منهم [20]،[21].



شكل (9) تأثير تغاير أقطار BA على قيمة العكورة المتبقية لعكورة اولية 80 NTU وتركيزشب 30 ملغم/لتر وبوليمر LT بتركيز 0.4 ملغم/لتر

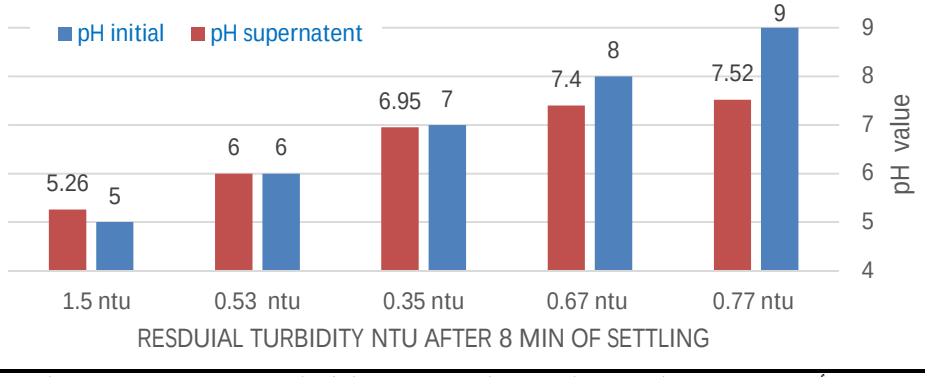
تأثير اسبقية اضافة BA والبوليمر على التلبيد المثقّل: -توضح نتائج الدراسة في الى شكل (10) ان ستلل طلقة BA قبل اضافة مساعدات التخثير (البوليمر) بفترة 10 ثواني يعطي نتائج أفضل من اضافة المساعدات أولا، والتي اجريت مقارنتها لمياه ذات عكورة اولية 80 وحدة. ويعزى هذا الى حالة انتشار حبيبات الرمل بانتظام بالوسط المائي قبل تحلل البوليمر وتكوين الايونات وانشاء الجسور البينية بين الدقائق العالقة، وهذا يؤدي إلى مشاركة تامة للـ BA في اللبادة عند توفر القيمة المثالية من الكيمياويات المضافة. كما وأن البوليمر يقوم بدور المادة اللزجة اللاصقة حول الجسيمات الصلبة ومن ضمنها BA حال تحلله، مما يساعدها على تكوين لبادات قوية التماسك وأكثر تكورا.



شكل (10) تأثير اسبقية اضافة البوليمر الموجب مع BA المضافة لعكوره اولية 80 NTU

تأثير قيمة الاس الهيدروجيني pH على العكورة المتبقية: -

لوحظ بأن أفضل قيمة اولية للأس الهيدروجيني هي عند pH=7 قبل اضافة المخثر، حيث استحصلت النتائج بالشكل (11) بعد تطبيق التجربة على القيم الاولية (5.0،6.0،7.0،8.0،9.0) لعكوره اولية NTU 80 وتركيز BA-G1=1.0 غم/لتر والبوليمر الموجب. وأشارت الدراسات [22]و [23]وبغية الاستفادة القصوى من تراكيز الشب المضافة يحبذ وصول قيمة pH إلى ما بين 5.5-7.7 معتمد على قيمة تركيز المضافات ونوعية الجسيمات العالقة في الوسط ووجودية البوليمرات المساعدة ونوع شحنتها. كما أن افضل قيمة لحالة Sweep Coagulation هي في مرحلة سيادية المركبات السالبة والتي تحدث حصرا عند قيمة pH ما بين 6 إلى 8 .[22].



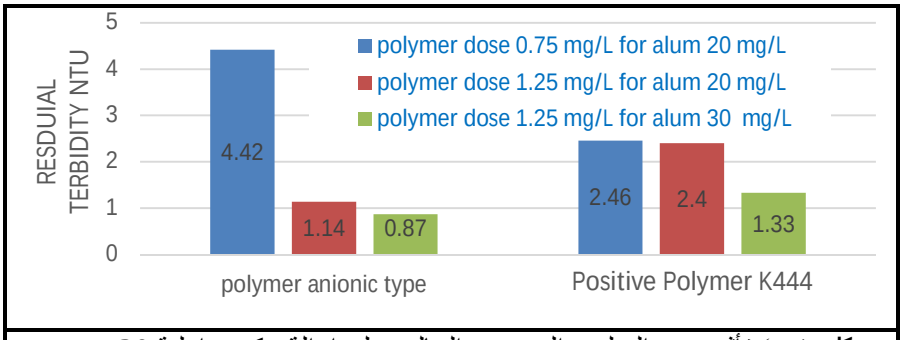
شكل (11) تأثير قيمة pH على قيمة العكورة المتبقية في محلول الرائق باستخدام عكوره اولية 80 NTU

تأثيرشحنة البوليمر المستخدم على التلبيد المثقّل: -

تبين من الدراسة بالشكل (12) بأن البوليمر الموجب اكثر كفاءة نسبيا من البوليمر السالب في محطات الاسالة كما وانه لعب دورا بتقليل تركيز الشب المضاف كونه يعادل شحنة سطوح الغرويات والجسيمات السالبة وتبين ذلك من معاملة مياه نهر دجلة ذات عكورة اولية 30 وحدة بنوعين من البوليمرات الموجبة.[24]

حيث اوضحت الدراسات العديدة منها [18، 25] بان استخدام البوليمرات في التخثير والتلبيد التقليدي يرفع من كفاءة الترسيب ضمن تركيز ما بين 0.5 الى 1.5 ملغم/لتر بعملية معادلة الشحنة والتجسير البيني وتكوين لبادات اكبر وأثقل، مقللة من تراكيز المخثرات الرئيسية.

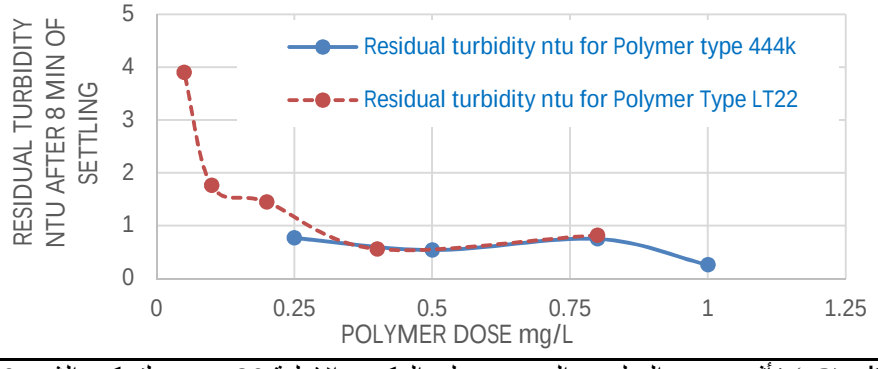
وهذا ما اتفق معه العديد من الباحثين لدى دراستهم معالجة المياه السطحية منهم [13]،[17]. تنطبق فوائد البوليمر أيضا على التلبيد المثقل ويضاف اليه اهمية طلي الحبيبات الرملية بلزوجة تمكنها من التجمع وتجميع من حولها الجسيمات غير المستقرة المتكونة بفعل المخثر.



شكل (12) تأثير نوع البوليمر الموجب والسالب على ازالة عكوره اولية 30 NTU وتركيز BA-G تركيز 1.5 غم/لتر

تأثير نوعية البوليمر الموجبين: -

بينت الدراسة بأنه لا يوجد فرق واضح بين البوليميرين الموجبين نوع LT22 والبوليمر 444k لمعالجة مياه ذات عكوره متوسطة، كما موضحة بالشكل (13). ويعزى سبب ذلك لتشابه فعاليته كمساعد تخثير مكملا عمل المخثر الموجب مقللا من جهد زيتا حول لجسيمات، ومانح لزوجتة حول BA ليزيد قابلية اللبادات المثقّلة على التكتل والالتصاق حين التجسير البيني. [9],[13]



شكل (13) تأثير نوعي البوليمير الموجب على العكورة الاولية 80 NTU لتركيز الشب 40 ملغم/لترمع BA-G1 بتركيز 2 غم/لتر

تأثير قيمة الانحدار السرعي (G)على التلبيد المثقّل:

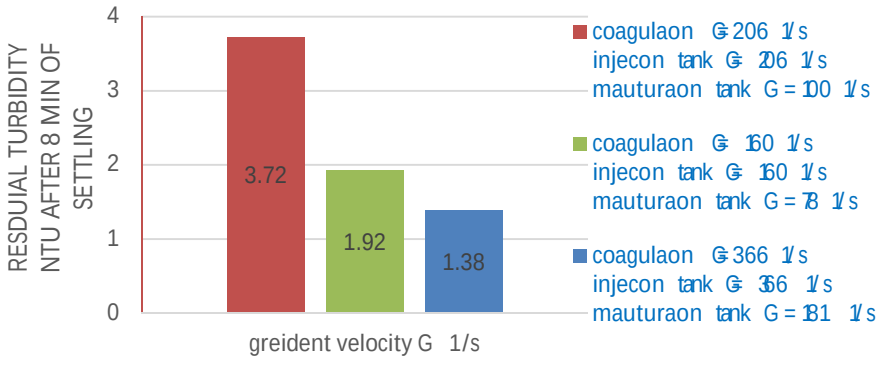
إن اهمية المزج السريع تكمن في نشر المخثرات في الوسط المائي بشكل متجانس ليتيح لها فعاليات اختلال المائي والاتزاز. واشارت المراجع المعتمدة [26]، [22] أن مزج التخثير يعتبر ذا اهمية أكبر في حالة التراكيز المنخفضة للمخثرات (حالة ميكانيكية معادلة الشحنة) وهو أقل اهمية في حالة استخدام المخثرات لتراكيزها الأعلى عند حالة ميكانيكية الاصطياد Sweep Coagulation.

أما مزج الحقن فغايته هو توزيع ونشر كل من BA والبوليمر بشكل متجانس اكمالا لعملية التخثير، وأخير مزج الانضاج الذي يحدد بدوره حجم وكبر وكثافة اللبادة المتكتلة بتأثيرات طاقة المزج وتوزيعها.

تم اختيار ثلاث قيم للمزج في الدراسة مع اضافة مقادير ثابتة للمضافات الكيمياوية وBA وكما موضح في الشكل(14). وتم التوصل إلى أن التلبيد المثقّل بإمكانه ان يتحمل قيماً عالية من المزج الهيدروليكي المسلط عليه وخاصة اثناء مرحلة الانضاج، وهذا يتطابق مع ما ذكر بالمراجع بأن مرحلة الانضاج لها قيمة انحدار سرعي 200-400 1/s، وهو السبب الرئيسي لقصر زمن مرحلة الانضاج لدى ثبات قيمة G.t.

كما وتم التوصل من نتائج الدراسة إلى ان أفضل كفاءة ازالة للعكورة تحققت عند تسليط قيم انحدار سرعي تتراوح (366، 366، 181 لكل ثانيه) لمرحلة (التخثير والحقن والانضاج) على التوالي عند درجة حرارة 25 مئوية.

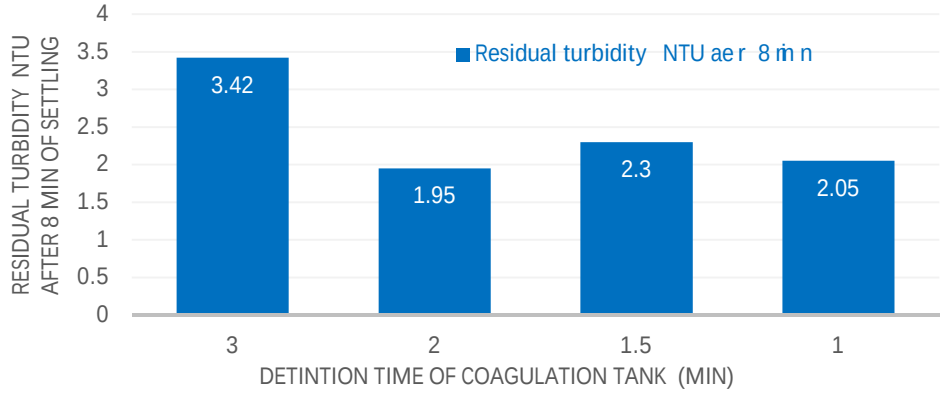
واثناء المشاهدة بالعين المجردة وعند خفض قيمة الدوران من 100إلى 80 دورة بالدقيقة في مرحلة الانضاج يبدا تثاقل اللبادات وتجمعها حول المروحة ومن ثم ترسيبها وخصوصا لدى القيم المنخفضة للعكورة الاولية 30 وحدة.



شكل (14) تأثير تغاير قيمة الانحدار السرعي في المنظومة لمياه ذات عكوره اولية 80 NTU وشب بتركيز 30 ملغم/لتر وبوليمر بتركيز 0.5 ملغم/لتر

تأثير زمن مرحلة التخثير على العكورة المتبقية: -

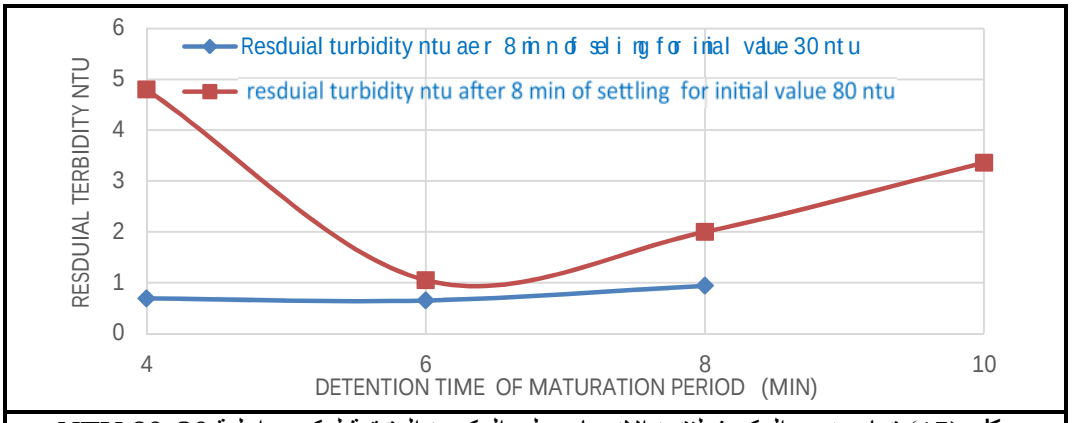
تم اجراء فحص الجرة بتغيير عامل الزمن وتثبيت قيم الانحدار السرعي والعوامل الاخرى على مياه ذات عكورة اولية 80 NTU. وخلصت الدراسة بأن اضافة محلول المخثر الرئيسي ومنحه قوة مزج لفترة 2 دقيقة يحقق الكفاءة المثلى والنتائج موضحة في الشكل(15).



شكل (15) تأثير زمن مرحلة التخثير لعكوره الاولية 80 NTU وباستخدام الشب بتركيز 30 ملغم/لتر والبوليمر 444k الموجب وتركيز BA-G1= 2 غم/لتر

تأثير زمن مزج الانضاج: -

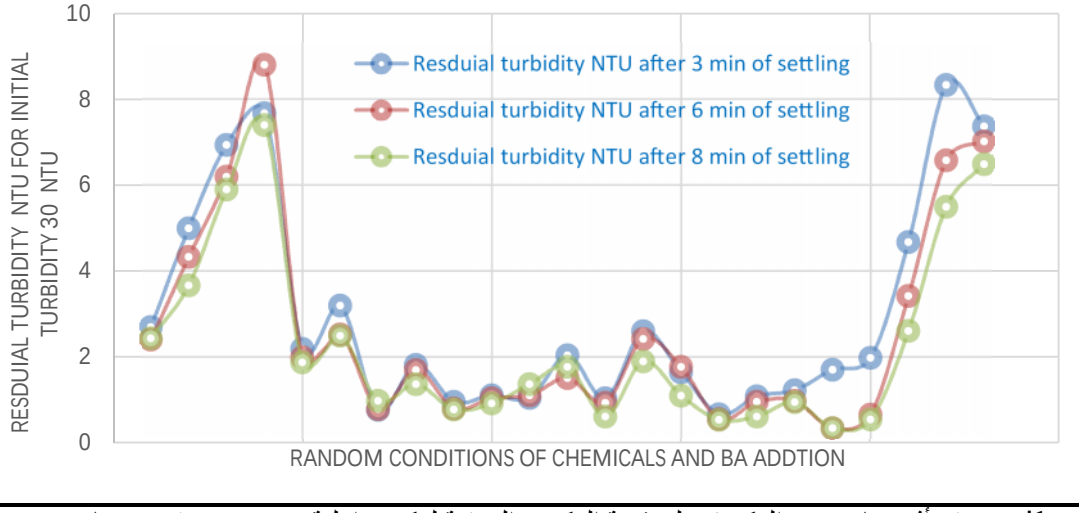
اكدت الدراسة بأن زمن مرحلة الانضاج والبالغ 6 دقائق كافية للحصول على حجم لبادات مرئية قابل على الترسب بكفاءة جيدة، وتمت الدراسة على مستويين من العكورة الاولية 30،80 NTU. والنتائج موضحة بالشكل (15). تعتمد مواصفات اللبادات المثقّلة الفيزيائية بشكل كبير على طاقة المزج المسلطة في مرحلة الانضاج، حيث ازدادت قابلية اللبادة المثقّلة على تحمل قوى القص لارتفاع ممانعتها ضد التكسر نسبة الى اللبادة التقليدية (بدون BA) المتكونة اثناء زمن المكوث التقليدي (15-45 min) [14]، والذي بدوره مكن من رفع قيمة G وبالتالي خفض فترة التلبيد إلى 6 دقيقة عند ثبات قيمة Gt.



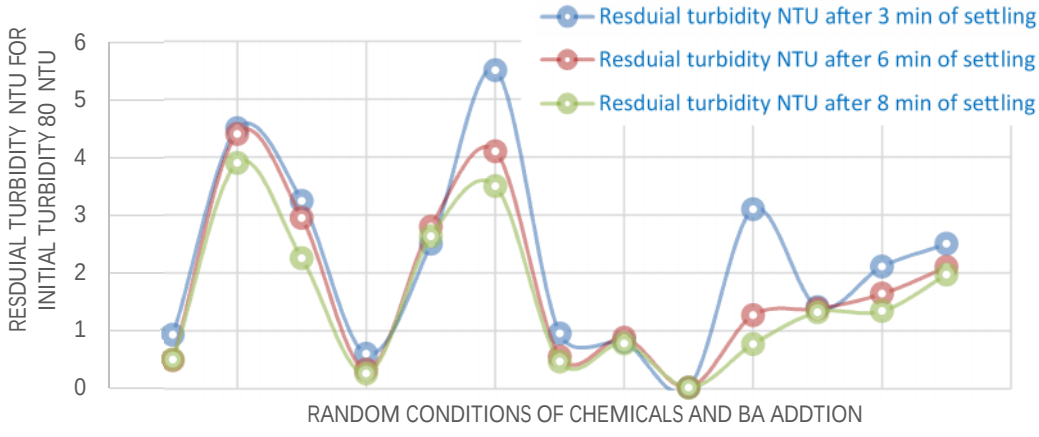
شكل (15) تغاير زمن المكوث لفترة الانضاج على العكورة المتبقية لعكوره اولية 30و80 NTU وبوليمر موجب بتركيز 0.5 ملغم/لتر وتركيز BA-G1

تأثير وقت الترسيب على التلبيد المثلى: -

تبين من نتائج فحص الجرة بأن فترة 6 دقيقة للترويق كافية للحصول على عكورة متبقية بنوعية جيدة تقترب من 1.5 وحدة للعكورات NTU(350،250،150) وتصل الى ما دون 1 وحدة للعكورات الاولية المتوسطة (30،80) NTU، والشكلان (16)، (17) تمثل قيم العكورة المتبقية لعينات عشوائية بالدراسة. حيث قورنت النتائج احصائيا بالاختبار(T Test Paired) وأظهرت نتائجه بعدم وجود فرق معنوي لمرحلة الترويق لفترتي 6 و8 دقيقة. أما عند مقارنة نتائج فترة ترويق 3 و 8 دقيقة اظهرت نتائجه وجود فرق معنوي عند قيمة $\alpha = 0.05$.



شكل (16) تأثر زيادة زمن المكوث على قيمة العكورة المتبقية لعكوره اولية 30 NTU (عدد عينات 72)



شكل (17) تأثر زيادة زمن المكوث على قيمة العكورة المتبقية لعكوره اولية 80 NTU (عدد عينات 36)

الاستنتاجات: -

على ضوء النتائج المستنبطة من الدراسة تم الوصول الى الاستنتاجات الاتية:

1. أداء تقنية التلبيد المثقّل كفوء لانتاج مياه صالحة للشرب بفترة قصيرة مقارنة مع التلبيد التقليدي، حيث قلل ازمنة المكوث الهايدروليكية في احواض التلبيد بنسبة 3:1 وفي أحواض الترويق بنسبة 5:1.
2. لن متطلبات المزج في مرحلة الاضاج عالية (G=200 1/s) في التلبيد المثقّل ولكن ضمن زمن المكوث (القصير Dt=6min). بعكس التلبيد التقليدي الذي يحتاج ازمنة مكوث اطول بطاقة مزج أقل (G=60 1/s Dt=20min).
3. تقنية التلبيد المثقّل ذات أداء جيد للعكورات المتوسطة والمرتفعة منها ذات العكورات(350,250,150,80) وحدة محققة كفاءة ازالة 99 %، أما للعكورة الاولية المنخفضة والتي تقارب 30 وحدة فكفائتها تقل وصولا الى 90%.
4. يتطلب التلبيد المثقّل تراكيز مخثرات اعلى بنسبة 25% مما يتطلبه التلبيد التقليدي وذلك بسبب عمل المنظومة في طور التخثير الاصطياديي ولإرتفاع العكورة مباشرة اثناء مرحلة الحقن يفعل BA وأخير قصر ازمنة المعاملة.
5. استخدام البولميرات ضرورية في تقنية التلبيد المثقل. والبولمير موجب الشحنة افضل من السالب لمعاملة نهر دجلة.
6. ان استخدام الحبيبات المحلية الرملية الناعمة BA ضمن مديات اقطار (75-212)µm يعد مثقلا وزنيا جيدا بديلا عن المثقّلات التجارية المستوردة والمعدة لهذا الغرض.
7. الدراسة اعطت التراكيز المثلى للمضافات الكيمياوية، حيث للعكورات المتوسطة كانت التراكيز 30و0.2 mg/L للشب والبوليمر على التوالي، وللعكورات المرتفعة فكانت التراكيز 35و0.4 mg/L. وكان تركيز BA الامثل مع العكورات المتوسطة 1.0-2.0 g/L ومع العكورات المرتفعة 1-1.5 g/L .
8. تبين من نتائج فحص الجرة بأن فترة 6 دقيقة للترويق كافية للحصول على عكورة متبقية بنوعية جيدة تقترب من 1.5 وحدة للعكورات (350،250،150) NTU وتصل الى ما دون 1 وحدة للعكورات الاولية المتوسطة (80،30). حيث قورنت النتائج احصائيا بالاختبار (T-Test-Paired) لبيان الفروقات المعنوية.

المصادر:-

1. Amirtharajah A., Brian M. SKeens, Heather L. Heindel, Wei LI Scott A. Hardy, and Ron Latimer,"Static mixer in water treatment: experiments and modeling of mixing for coagulation flocculation" AWWA Research Foundation and American Water Work Association,2000.
2. Armenante Piero M. "Coagulation and Flocculation" Presentation slides p129, New Jersey Institute of Technology New Jersey Institute of Technology NJIT,1997.
3. American Water Works Association and James Edzwald "Water Quality And Treatment: A Handbook On Drinking Water"sixth edition, American water works association, 2011.
4. Chi-Yuan Fan, Yuan Ding, Shih-long Liao et.al. "High Rate Microcarrier-Weighted Coagulation for Treating Wet Weather Flow" New Jersey Institute of Technology 1996.
5. Crittenden J., Rhodes Trussell, David W, Kerry J. Howe, George Tchobanoglous "MWH's Water Treatment Principles and Design" Third Edition,John Wiley & Sons, Inc.,2012.
6. Desjardins C., Boniface Koudjonoub, Raymond Desjardins "Laboratory Study of Ballasted Flocculation" Water Research, pp744–754, 2002.
7. Environment Protection Agency "Guidance Manual: Turbidity Provisions" p138, 1999.
8. Ghanem A., Young J. C. and Edwards F. G., "Mechanisms of Ballasted Floc Formation" Journal Of Environmental Engineering, pp274-277,2007
9. Hammer M. J.,Hammer M. J. Jr,"Water and Wastewater Technology " Sixth Edition, Prentice-Hall Publisher, 2008
10. Hasan Mohammed Sulaiman "Effect of Polyelectrolytes on Turbidity Removal of Tigris River by Alum Coagulation " Master Of Envaromment Scinece, University Of Mosul , Iraq, 1977.
11. Mackenzie Ph.D., P.E., BCEE , Michigan State University "Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice",McGraw-Hill Companies, p1300, 2010.
12. Mackenzie Ph.D., P.E., BCEE , Michigan State University "Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice" McGraw Hill, p1308, 2011
13. Metcalf & Eddy, Inc. George Tchobanoglous, franklin L. Burton , H.David Stensel, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse", 4th edition, McGraw-Hill Companies,p1898,2003
14. Pallavi Mehta "Role Of Zeta Potential In Micro-Carrier Process", Institution Journal, p116,1999.
15. Plum V., Claus P.Dahl, Leif Bentsen, Carsten R. Petersen, LisNapstjert, N. B. Thomsen "The Actiflo Method" Water Sci Tech. no. l, pp269-275, 1998.
16. Ronald L. Droste "Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment" John Wiley & Sons Inc.,1996.
17. Sinha S., Gary Amy, Christian Desjardins, Jerome Lepore, Chandra Mysor, Paul Whittam "Sand Ballasted Flocculation Versus Conventional Coagulation: Bench- and Pilot-Scale Comparisons of Clarification of Highly Variable Source Waters" Water Quality Technology Conference 2002 of American Water Works Association 2002.
18. Voila "Actiflo® Process for Drinking Water Treatment" Brochure,p6 ,2005.
19. Voila "A Compact Solution for Treatment of Drinking Water, Process Water and Wastewater: Introduction to the Actiflo Process" Presentation ,p51, 2005.

20. W.Zhu, R. Seth and J. Lalman "Evaluation of a Micro Carrier Weighted Coagulation Flocculation Process for the Treatment of Combined Sewer Overflow", Environmental Technology Vol 28, p761-770, 2007.
21. Walas Stanley M."Chemical Process Equipment: Selection and Design" Third Edition, Butterworth-Heinemann Series In Chemical Engineering, p774, 1990.
22. Water Environment Federation Manual of Practice No. FD-8 “Clarifier Design"Second Edition, McGraw-Hill, p746, 2005.
23. William Bevis W. L. Mak, Suki S. K. Pun "Pilot Testing of Manganese Oxidation in a High-Rate Sedimentation Process for the Reprovisioning of the Sha Tin Water Treatment Works, Hong Kong Special Administrative Region", Water and Environment Journal 21, pp26–33, 2007.
24. Young J.C. and Edwards F. G. "Factors Affecting Ballasted Flocculation Reactions" Water Environmental Research, Vol 75, No 3 ,pp263-271, 2003.
25. Zeta-Meter Inc. "Everything You Want to Know About Coagulation & Flocculation" Fourth Edition, p41,1993.
26. مديرية بيئة نينوى "نـتائج الفحوصات المختبرية لمسح المصادر المائية الأول في محافظة نينوى" 2010-2011

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل