

احتساب زاوية الميل المثلى ونسبة الازالة للكدرية لمجموعة من الصفائح
المائلة المقوسة في احواض ترسيب المياه⁺

DETERMINATION OF OPTIMUM ANGLE OF INCLINATION
AND TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY OF MODULE
OF CURVED INCLINED PLATES SETTLER

رياض حسن هادي الانباري *

المستخلص

وضح هذا البحث انه في حالة استخدام الصفائح المائلة في احواض ترسيب المياه سواء في محطات التنقية او في وحدات المعالجة لمياه الصرف الصناعية . فان العلاقة بين معامل الازالة للكدرية E% تعتمد على المساحة السطحية الكلية للحوض مع الصفائح وعلى زاوية ميل المجموعة عن قاعدة الحوض اساساً أي ان :

$$E \% = f (V_o, \cos q)$$

فقد تم استخدام نموذج من الصفائح المائلة ذات الشكل المقوس (نصف اسطوانة مكررة) في حوض ترسيب لوحدة ريادية ذات امكانية تغيير مقدار زوايا الميل فيها لمجموعة الصفائح مجتمعة بين ($30^\circ \leq q \leq 70^\circ$) وباعتماد تقنية المرحتين للمربعات الصغرى (TSLST) تم بناء علاقات انحدار جيدة تصف معامل نسبة الازالة للكدرية E% مع كل من زاوية ميل مجموعة الصفائح ومعامل الطفح السطحي للحوض وتوصل الباحث الى بناء نموذج عام يصف العلاقة المذكورة وبين ان معامل الازالة للكدرية يعتمد على متطابقة من الدرجة الثالثة لزاوية الميل ومن الدرجة الثانية لمعامل الطفح السطحي. ومن النموذج العام للعلاقة تم احتساب (وليس تقدير) زاوية الميل المثلى وذلك بأخذ المشتقة الاولى للنموذج مع زاوية الميل ومساواتها للصفر أي $\frac{\partial E\%}{\partial q} = 0$ ثم حساب قيمة q المثالية وكانت للمجموعة المستخدمة تساوي 43.1° مع قاعدة الحوض.

Abstract

This work explains that when inclined plates have been used in a settling tank, the relationship between the removal efficiencies E% depend mainly on the total added plates area their angle of inclination and the rate of flow i.e. $E\% = f(V_o, \cos \theta)$. The main objective of the work is to determine mathematically the optimum angle of inclination of the plates settler.

Pilot plant model of conventional WTP had been builds, with a capacity of changing the flow rates and the angle of inclination of the plates arrangement ($30^\circ - 70^\circ$). 15 plates of curved shape (half cylinder of 25 cm length * 25cm diameter of steel sheets), had been arranged to have different angles of inclination. The Two Stages Least Square Technique (TSLST) was used by taking the general trends of the removal efficiency (E %), and the angle of plates at different flow rate.

* تاريخ استلام البحث في ١٠/٩/١٩٩٩، تاريخ قبول النشر في ٢٠/١٢/٢٠٠٠

* استاذ مساعد/ الجامعة التكنولوجية - بغداد

The researcher could determine the θ_{opt} which provides best removal efficiency by taking 1st derivative of removal efficiency with respect to inclination angle (ie = 0) then the optimum could be determined and not estimated..... $\frac{\partial E\%}{\partial q}$

The overall results of the curved shaped plates settler give $\theta_{opt} = 43.1^\circ$ with the horizontal.

الإطار النظري

تعتبر المشاريع الصناعية وخاصة تلك التي تصرف مخلفاتها الصناعية الى الانهار بأنها الملوث الاكبر للبيئة المائية وتختلف انواع الملوثات اعتمادا على نوع الانتاج وتقنية العمل والمواد الاولية الداخلة بالانتاج وغيرها وباعتبارنا في منطقة الفرات الاوسط وهي منطقة صناعية غنية بالمشاريع والمعامل والتي تقع مباشرة على حوض النهر كان جل اهتمامنا بالبيئة المائية ومحاولة تحسين واقعا والحفاظ عليها من التلوث مما دفعنا لتقديم هذا البحث لما فيه من نتائج ممكن ان تحسن وترفع كفاءة اداء المرسبات الاعتيادية وبالتالي نحقق مطروحات صناعية اقل مشاكل على بيئة النهر.

استخدمت تقنية الصفائح المائلة في اعمال تصفية المياه منذ الستينات من القرن الماضي لرفع كفاءة وتطوير اداء احواض الترسيب الاعتيادية. وهناك العديد من البحوث العملية والنظرية التي تناولت هذه التقنية منها [1], [2], [3], [4], [5] والدراسات والبحوث في هذا المجال مستمرة ولعل من المعروف ان تصميم احواض الترسيب سواء في محطات تصفية المياه او المعالجة تعتمد اساسا على :

١ - معامل معدل الطفح السطحي (Vo) Surface Overflow Rate حيث :

$$SOR = V_o = \frac{Q}{A} (m^3 / m^2 . hr) \dots \dots \dots (1)$$

حيث Q تمثل معدل الجريان (الشحنة) m^3/hr
A المساحة السطحية لحوض الترسيب m^2

٢ - نسبة الازالة المطلوبة للكدرية E% Turbidity Removal Efficiency

$$E\% = \frac{Inf.Tur - Eff.Tur}{Inf.Tur} * 100 \dots \dots \dots (2)$$

٣ - ثم ان نسبة الازالة هذه E% تعتمد اساسا على معامل معدل الطفح السطحي للحوض وتعمل كدالة له أي

$$E\% = f(V_o) = f\left(\frac{Q}{A}\right) = Qf\left(\frac{1}{A}\right)$$

حيث f تعني دالة

$$E\% = f\left(\frac{1}{A}\right) \dots \dots \dots (3)$$

بالنتيجة اذن فـ

فعند ثبات مقدار الجريان (Q) ، فإن اية زيادة في المساحة السطحية للحوض تحقق نسبة ازالة افضل وهكذا. لذا فلزيادة كفاءة الازالة (% E) للحوض يجب ان تزداد المساحة السطحية له. ان تحقيق ذلك " زيادة مساحة الترسيب "The Setting Area" في احواض الترسيب يمكن ان تتم بأعتماد تقنية الصفائح المائلة [2],[5],[6]. فعند استخدام صفائح ذات تنظيف ذاتي Self Cleaning Plates (منحدرة مع الافق بزواوية اكبر من 30°) منظمة بشكل متوازي مع بعضها البعض بحيث تميل عن قاعدة الحوض بزواوية ثابتة تدعى (q) كما بالشكل رقم (1) يمكنها ان تحقق زيادة واضحة وهكذا.

لقد درست هذه التقنيات من قبل العديد من الباحثين عمليا ونظريا منهم [7]، [8]، [9]، [10]، [11] وغيرهم وقد وضعت قواعد ومواصفات لتحقيق ذلك ، وقد تبين ان زاوية الميل المثلى (qopt) محصورة بين (30° - 75°) مع الافق [2]، [8]، [12] . تناول [13] الموضوع واثبت بخصوص احواض الترسيب ذات الصفائح المائلة وبأتجاه جريان رأسي نحو الاعلى Up flow plated settling tank وذات صفائح بسمك ثابت مقداره t (m) ومنظمة بمسافة ثابتة بين صفيحة واخرى مقدارها d (m) وتميل المجموعة بزواوية ميل عن قاعدة الحوض مقدارها (q) فأن معامل معدل الطفح السطحي لها (V_o) هو :

$$V'_o = V_o \left[\frac{(d+t)}{H \cos q + d} \right] \dots \dots \dots (4)$$

حيث V_o = معامل الطفح السطحي للحوض بدون صفائح مائلة ، $\frac{Q}{A}$

V'_o = معامل الطفح السطحي للحوض مع الصفائح المائلة

H = عمق حوض الترسيب (m)

d = المسافة بين الصفائح و t تمثل سمك الصفائح

قد يكون من الواضح من خلال العلاقة رقم (4) اعلاه بأن معامل الطفح السطحي للحوض V_o ينخفض بمقدار

$$\frac{(d+t)}{H \cos q + d}$$

كلما زادت اعداد الصفائح للمجموعة وكلما تحققت نسبة ازالة افضل.

من المهم الاشارة هنا ، وبخصوص الصفائح ذات الصفات المحددة من حيث الابعاد وعدد وسمك المادة وسواها

فأن المعامل $\left[\frac{(d+t)}{H \cos q + d} \right]$ سوف يعتمد فقط على زاوية الميل (q) وكما يتبين أي

$$\left[\frac{d+t}{H \cos q + d} \right] = f(\cos q)$$

$$V_o = f(q) \dots \dots \dots (5)$$

لذا يمكن القول بالاستعاضة ان

عليه يتبين من العلاقة 4 ، 5 اعلاه التالي :

عند خفض قيمة زاوية الميل (q) فأن قيمة cos q تزداد وقيمة V'_o سوف تنخفض عليه فأن كفاءة الترسيب

النظرية للحوض سوف ترتفع وهكذا . لذا يمكن للباحث تلخيص ما سبق بالتالي :

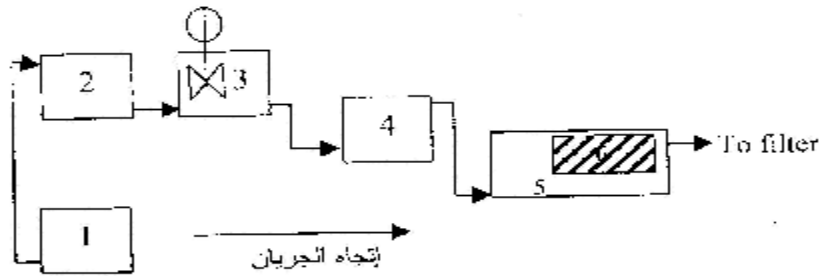
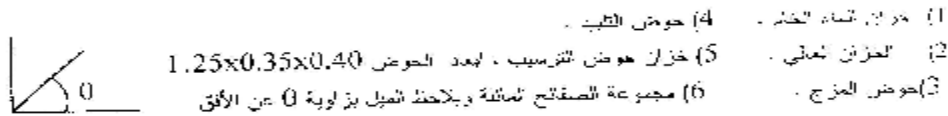
بخصوص الاحواض ذات الصفائح المائلة فان العلاقة بين معامل الطفح السطحي للحوض V_0 ومعامل الازالة النسبية $E\%$ وزاوية الميل لمجموعة الصفائح المائلة للحوض يمكن ان يعبر عنها كالاتي :

$$E\% = f(v_0, q) \dots \dots \dots (6)$$

وهي الصيغة العامة التي سينفذ منها الباحث من خلال بحثه الحالي في بناء نموذج عام يصف نسبة الازالة واستخراج زاوية الميل المثلى حسابيا **Determination** وليس تقديريا **Estimation** .

الجانب العلمي

نفذ مشروع ريادي pilot plant لمحطة تصفية مياه متكاملة والشكل رقم (١) يوضح الجزء المتعلق بالبحث الحالي .



شكل (١): مخطط يبين نموذج الفحص الريادي للبحث

- ولاغراض تنظيم العمل والدقة بالبيانات والنتائج اعتمد الباحث الضوابط التالية اثناء تطبيق الجانب العملي وهي :-
- بالنسبة للماء الخام فقد استخدم ماء الاسالة الاعتيادي tap water مع اضافة نسب مختلفة له من محلول طين الكاؤولين المحضر بالمختبر لانتاج كدرة مناسبة حيث اعتمدت حدود الكدرة بين (150-200NTU) فقط .
- استخدام محلول الشب النقي $18H_2O$. $Al_2(SO_4)_3$ بتركيز 10% ، وقدرت الكمية المضافة منه من خلال فحص الجرة القياسي لمجال الكدرة المذكورة وكانت $35mg/L$.
- تم ضمان تأمين ،ولنسب الجريان المختلفة (Q) معامل كامب لانحدار السرعة Velocity Gradient(G) كالاتي:

- عند المزج والتحرك السريع $G_{mix}=200 S^{-1}$

- عند التلييد $G_{ave}=(40-45)S^{-1}$

وهي قيمة لـ (G) تتسجم مع نتائج [14] والمتوافقة مع توصيات [15]، [16].

- انجز البحث باستخدام مجموعة من الصفائح المائلة مقوسة الشكل على شكل نصف اسطوانة بقطر 25cm وارتفاع 25cm .
- كانت الصفائح المستخدمة من الصفائح المغلونة غير المضلع بسمك ثابت هو $t=1.5\text{mm}$ نظمت بحيث تكون المسافة بين صفيحة واخرى ثابتة ومقدارها $d=2.5\text{ cm}$ وكان عدد الصفائح للمجموعة هو $N=15\text{ plates}$.
- الصفائح كانت تثبت على اطار حامل من الالومنيوم قابل للتنظيم لتحقيق زاوية ميل مختلفة بشكل جماعي قيمة زاوية الميل الممكنة محصورة بين $(30^\circ \leq q \leq 70^\circ)$.
- استخدم مقياس جريان معير **Calibrated Flow Meter** مع محبس **Value** لتنظيم الجريان لاختبار **Q** المناسبة والمحصورة بين $(50 \leq Q \leq 300\text{L/hr})$.
- اختيرت ستة زوايا ميل q هي $(30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 70^\circ)$ للعمل .
- كانت القراءات تعتمد لمعدل ٣ تجارب على الاقل لكل متغير اثناء العمل .

بناء النموذج الرياضي والنتائج والمناقشة **Results & Discussion**

الجدول رقم (١) يبين النتائج العملية التي تم التوصل اليها في المختبر وباعتماد النموذج حيث يتوضح منه ولزوايا ميل مختلفة (q) لمجموعة الصفائح ولنسب جريان مختلفة (Q) ضمن الحدود المحددة نسب معامل ازالة الكدرة ($E\%$) المتحققة فعليا.

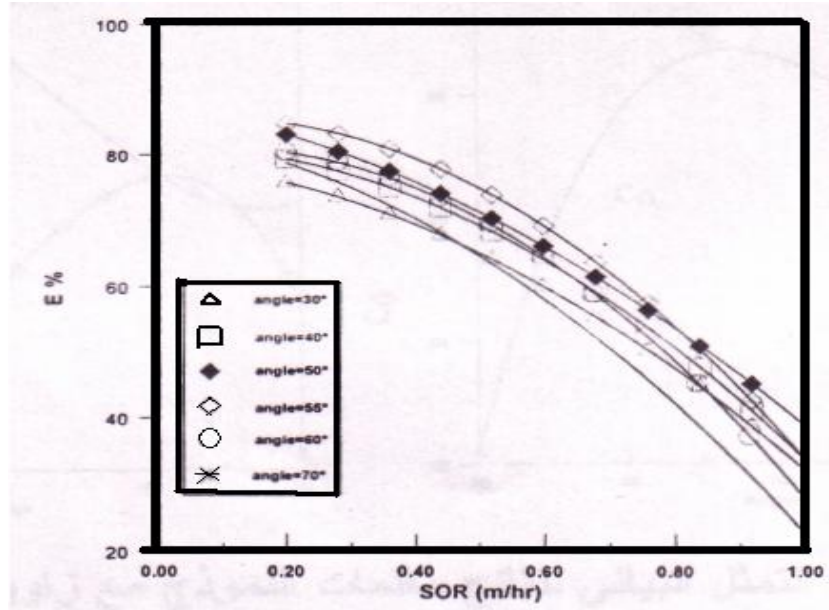
جدول رقم (١) : نتائج الجانب العملي للبحث

Run No.	V_0 m/hr	E% With out plate	E% different Angles					
			30	40	50	55	60	70
1	0.198	60	76	78.7	83	85.4	82	79.3
2	0.387	53	69	75	76.1	78.5	71	68.7
3	0.596	45.7	60.5	64.3	67	69.5	67.7	61.0
4	0.793	31	48	49.7	53	55.2	49	41
5	0.992	18	32.5	35	39.7	34	28.1	23.7

وعند التمثيل البياني للنتائج كما بالشكل رقم (2) تبين بوضوح ان العلاقة بين $E\%$ و V_0 تميل الى اتخاذ شكل لا خطي Nonlinear Relationship ذو نقطة انقلاب واحدة أي يمكن ان نعبر عن العلاقة المذكورة بين V_0 و E بانها متطابقة من الدرجة الثانية 2^{nd} degree polynomial وتعتمد على زاوية الميل q والعلاقة العامة التي تمثل متطابقة من الدرجة الثانية لاية زاوية ميل q هي اذن

$$E_q \% = a_q V_0^2 + b_q V_0 + c_q \dots\dots\dots (7)$$

حيث a_q, b_q, c_q هي معاملات نموذج الانحدار **Model Parameters**



شكل (2) : يبين العلاقة بين معامل الطفح السطحي ونسبة الازالة اعتمادا على زاوية الميل

ان المعلمات اعلاه يمكن ان تحسب وتقدر من خلال برنامج انحدار للبيانات المتحققة (المتوفرة) في الجدول رقم (1) لكل قيمة زاوية q فيه. وهي الخطوة الاولى لتقدير معلمات النموذج كما يمكن للباحث الاستمرار والاستفادة منها في بناء مرحلة ثانية من المعلمات المحتمسبة لتتحقق نموذج رياضي عام يمكن التعويض فيه باي زاوية ميل ولاية قيم لمعدل الطفح ضمن حدود العمل المعتمدة لاستخراج معامل الازالة الكلية له مباشرة أي ان الباحث اعتمد تقنية المرحلتين باستخدام المربعات الصغرى **Two Stages Least Squares Technique (TSLST)** لاستخراج النموذج العام وكما سيتبين لاحقا .

مراحل بناء النموذج للعلاقة العامة

المرحلة الاولى: من خلال تطبيق تقنية المربعات الصغرى باعتماد برنامج **STAT** للانحدار المتعدد ثم الحصول على مجموعة المتطابقات اعتمادا على نتائج كل من زاوية ميل لمجموعة الصفائح المائلة المستخدمة . فالعلاقة مثلا للزاوية 30° هي كما في ادناه :

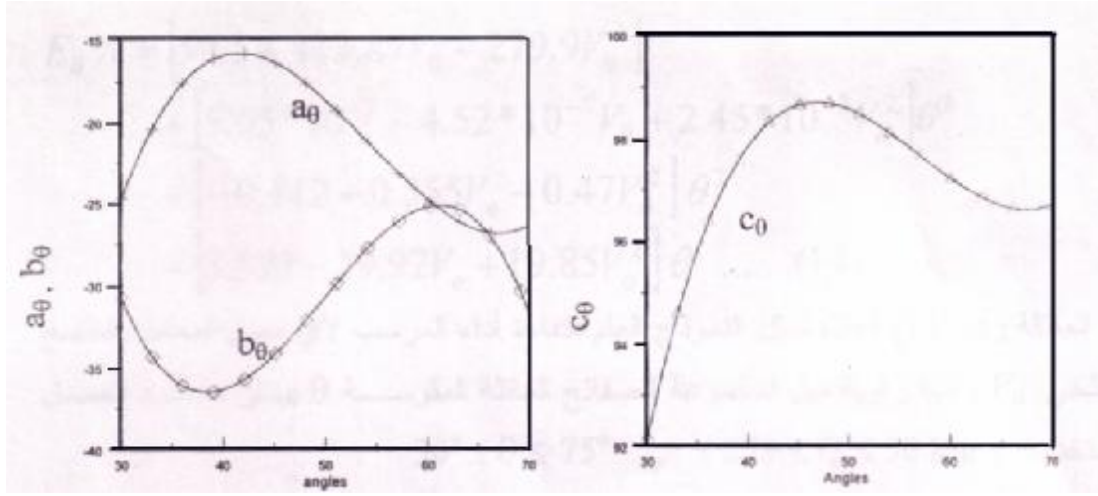
$$E_{30} \% = 92.35 - 31.18V_0^2 - 24.24V_0 \dots \dots \dots (8)$$

وهكذا لبقية الزوايا الستة ونتائج معلمات النماذج المذكورة موضحة بالجدول رقم (2)

جدول رقم (2): معلمات a_q, b_q, c_q لمتطابقة من الدرجة الثانية اعتمادا على نسب الازالة الناتجة للاحواض

q	aq	bq	cq
30°	-24.24	-31.18	92.35
40°	-17.66	-34.56	97.31
50°	-16.96	-33.34	98.63
55°	-19.90	-27.06	99.65
60°	-27.71	-23.57	95.63
70°	-25.84	-31.97	96.97

المرحلة الثانية: لغرض الاستمرار بالمرحلة الثانية من بناء النموذج العام فقد تم تمثيل (رسم) علامات المعلمات المتحققة الواردة بالجدول رقم (2) مع زاوية الميل لكل منها وكانت كما تلاحظ بالشكل رقم (3):



شكل رقم (٣): التمثيل البياني لنتائج معلمات النموذج مع زاوية الميل للمجموعة

انه من الواضح من خلال الشكل رقم (3) ان العلاقة للمعلمات a_q, b_q, c_q تتغير مع زاوية الميل q على شكل متطابقة من الدرجة الثالثة 3^{rd} degree polynomial (أي ان فيها نقطتي انقلاب) عليه فان افضل تمثيل للعلاقة بينها (لكل واحدة) من خلال تقنية المربعات الصغرى ايضا سوف تأخذ الشكل التالي :

$$a_q = A + B(q)^3 + C(q)^2 + D(q).....(9)$$

عليه فاستخدام نموذج انحدار متعدد للنتائج الواردة في الجدول رقم (2) ولكل زاوية ميل تم من خلالها التوصل الى العلاقات (المتطابقات) التالية

$$a_q = -279.9 + 2.45 * 10^{-3} q^3 - 0.47 q^2 + 19.85q.....(10)$$

$$b_q = 413.87 - 4.52 * 10^{-3} q^3 + 0.355 q^2 - 29.92q.....(11)$$

$$c_q = 29.5 + 5.05 * 10^{-3} q^3 - 0.112 q^2 + 3.521q.....(12)$$

بناء النموذج العام

الخطوة التالية للوصول الى النموذج العام هي بتعويض نتائج المتطابقات اعلاه (10,11,12) في النموذج الاول (معادلة رقم 7) وهي:

$$E_q \% = a_q V_o^2 + b_q V_o + c_q(7)$$

وبالتعويض يكون :

$$E_q \% = [-279.9 + 2.45 * 10^{-3} q^3 - 0.47 q^2 + 19.85q] V_o^2$$

$$+ [413.87 - 4.52 * 10^{-3} q^3 + 0.355 q^2 - 29.92q] V_o$$

$$+ [59.5 + 5.05 * 10^{-3} q^3 - 0.112 q^2 + 3.521q]$$

وبإعادة تنظيم العلاقة اعلاه ينتج:

$$E_q \% = [59.5 + 413.87 V_o - 279.9 V_o^2]$$

$$+ [5.05 * 10^{-3} - 4.52 * 10^{-3} V_o + 2.45 * 10^{-3} 10_o^2] q^3$$

$$+ [-0.112 + 0.355 V_o - 0.47 V_o^2] q^2$$

$$+ [3.521 - 29.92 V_o + 19.85 V_o^2] q \dots \dots \dots (14)$$

ان العلاقة رقم (14) اعلاه تمثل النموذج العام لكفاءة اداء المرسب لاي معدل لمعامل الطفح السطحي V_o ولاية زاوية ميل لمجموعة الصفائح المائلة المقوسة q بين حدود العمل المستخدمة $(275 \leq Q \leq 50l/hr)$ ، $(30^\circ \leq q \leq 75^\circ)$.

ايجاد زاوية الميل المثلى

من خلال النموذج العام المستنبط الوارد في العلاقة رقم (14) السابقة ، يمكن استخراج زاوية الميل المثلى لمجموعة الصفائح المائلة المقوسة q_{opt} وذلك باستخراج المشتقة الاولى لها مع زاوية الميل q ثم مساواتها للصفر أي

$$\frac{\partial E_q}{\partial q} = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial q} = [15.15 * 10^{-3} - 13.56 * 10^{-3} V_o + 7.35 * 10^{-3} V_o^2] q^2$$

$$+ [-0.224 + 0.71 V_o - 0.94 V_o^2] q$$

$$+ [3.521 - 29.92 V_o + 19.85 V_o^2] = 0 \dots \dots \dots (15)$$

العلاقة رقم (15) اعلاه تمثل متطابقة زاوية الميل المثلى q_{opt} عند استخدام مجموعة الصفائح المائلة المقوسة . عند التعويض عن قيمة معامل معدل الطفح السطحي V_o مثلاً بـ $V_o = 0.75 M^3/M^2.hr$ عليه :

$$\frac{\partial E_q}{\partial q} = 0$$

تصبح المعادلة

$$9.11 * 10^{-3} \theta^2 - 0.22 \theta - 7.754 = 0$$

زاوية الميل المثلى لمجموعة

$$q_{opt} = 43.1^\circ$$

وبحل المعادلة اعلاه بطريقة الدستور ينتج لدينا الصفائح المائلة المستخدمة بالعمل وهو المطلوب .

الاستنتاجات

من خلال نتائج هذه الدراسة يمكن الإشارة للاستنتاجات التالية:

- في عمليات الترسيب وعند استخدام الصفائح المائلة يمكن التعبير عن معامل الازالة للكدرة $E\%$ من خلال العلاقة التالية : $E\% = f(V_0, Q)$
- ان النموذج العام لنسبة الازالة للكدرة لتشكيلة الصفائح المقوسة المستخدمة قد اخذ شكل لا خطي ومن الدرجة الثالثة بالنسبة لزاوية الميل (Q) ومن الدرجة الثانية بالنسبة لمعامل معدل الطفح السطحي (V_0) .
- كانت صيغة النموذج العام الذي تم بناءه ضمن هذا البحث كالآتي :

$$E_q \% \text{ of curved plate} = [59.5 + 413.87V_0 - 279.9V_0^2] \\ + [5.05 * 10^{-3} - 4.52 * 10^{-3}V_0 + 2.45 * 10^{-3}V_0^2]q^3 \\ + [-0.112 + 0.355V_0 - 0.47V_0^2]q^2 \\ + [3.521 - 29.92V_0 + 19.85V_0^2]q$$

- امكانية ايجاد زاوية الميل المثلى (حسابيا) للنموذج وذلك من خلال اخذ المشتقة الاولى للنموذج العام مع التغيير لزاوية الميل ومساواتها للصفر أي: $\frac{\partial E_q}{\partial q} = 0$
- كانت زاوية الميل المثلى لمجموعة الصفائح المقوسة المستخدمة عند معدل طفح سطحي مقداره $V_0=0.75L/hr$ هي $Q=43.1^\circ$ مع الافق وهي تتسجم مع اراء العديد من الباحثين .

المصادر

- 1- Culp T.R ., "Sedimentation & They Design of Setting Tanks " , *Am . Soc. Civ. Engg*, Vol.111 , pp. 895 -936 , 1964.
- 2- Culp G., Hansen , S ., & Richadson , G., " High – Rate Sedimentation in Water Treatment Works " , *AWWA* ,Vol . 60 , pp. 681 – 698 , 1968.
- 3- Culp G.L.,& Culp R.L ., " New Concepts in Water Purification " *Van Nostran Reinhold Environmentat Engineering series USA* , 1967.
- 4- Forsell Bo .,& hedstrom B ., " Lamella Sedimentation – A Compact Separation Technique " ,*J.WPCF*, Vol .47 ,No.4 , 1975 .
- 5-Schultz R. C., and Okun D.A., *Surface Water Treatment for Development Countries* , Wiley –Interscience , USA, 1984.
- 6- Hansen s.p. , Richardson . G. H. , and Hsunig , A., " Some Recent Advance in Water Treatment Technology " Edited by lawrence K. Cecuk" , *American institute of chemical engineering USA*, 1968.
- 7-Fadel a.a .,& Baumann E.R., " Tube Settler Modeling " , *Am . Sos .Civ . Engg* , Vol.116 , pp. 107 – 124, 1990.
- 8-Noori M.C., " *Preformance Efficiency of Inclined Plates Settling*" , M.Sc thesis , University of Technology , IRAQ, 1995.
- 9-Verhoff F. H., "Optimal Design of High – Rate Sedimentation Devices " , *Am. Soc. Civ. Engg.* , pp.105-215, 1979.
- 10-Yao K. M., "Design of High – Rate Sedimentation " , *J. WPCE*, Vol. 24 , No.2 part 1, 1973.
- 11- Yao K. M., "Design of High-Rate Settlers" , *Am. Soc. Civ.. Engg.* Vol.99 pp. 621-637, 1973.
- 12-Lewis W.M., "Devlopment in Water Treatment-1" , *Applied Scince*, publishers Ltd. LONDON, 1980.
- 13-Huisman L ., "Sedimentation and Flotation Mechanical Filteration " *Technische Universities Delft*. pp. 15-86, 1986.
- 14-Bernhardt H., & Schell H., " Effects of Energy Input During Orthokninetic Aggregation on the Filter Ability of Generated Floccs " , *Wat . Sci Tech*, Vol . 27 , No . 10 , pp. 35 – 65 , 1993.
- 15- " *AWWA Water Quality & Treatment* " , 3rd . edt Mc Graw – Hill Book Company . USA , 1971 .
- 16-Degremont , *Water Tretment Handbook* , Degremont FRANCE ,1995 .