مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية ـ المجلد ١٢(العددان ٣و٤) ١٤١١هـ ـ ١٩٩٠م

نماذج انحلال ملوثات الصرف الصحي في الحقل القريب للمصب البحري

الدكتور عادل عوض
أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية
جامعة تشرين

يتناول البحث تحليل عمليات توزيع التركيز لمياه المجاري المدينية المصرفة بواسطة مصب بحري ،وذلك من خلال وضع نماذج رياضية تستند الى الظروف الهيدروديناميكية للخلط الدوامي للتيارات البحرية مع الملوثات بشكل نافورة مائية (Jet) وذلك لتقدير انحلال الملوثات في الحقل القريب للمصب ، آخذين بعين الاعتبار حالتي وسط مائي متجانس وغير متجانس . وفي هذا المجال عالجت الدراسة أيضا حالة النافورة المائية للملوثات في وضعها الغاطس في وسط مائي وبينت مختلف أنواع الأجزاء الرذاذة في المصب البحري من حيث توضع فتحات الرذاذ والتباعد فيما بينها ،وأي من أنواع الفتحات هو الاجدى في تحقيق الانحلال الاعظمي للملوثات وذلك في حالتي البيئة المائية المتجانسة العميقة والبيئة الضحلة الجارية . وقد دأب الباحثون في دراسة مجال انحلال الملوثات في البيئة البحرية على وضع العديد من نماذج التوزيعات المفترضة لنافورة مياه المجاري المقذوفة في البحر ،ومن بين العديد من هذه النماذج اعتمدنا التوزيع المعروف لـ (غوص) وهو الاقرب الى سهولة الحل والاعتماد عليه في استنباط القيم الرياضية النظرية لتوزيع الملوثات من خلال عوامل واشكال السرعة والتركيز وتناقص الكثافة .

استند البحث الى المفاهيم الأساسية لقوانين التوازن لمعونية الحجم والحركة والكتلة وتناقص الكثافة ،في وضعه للمعادلات الرياضية التحليلية لنماذج النافورة ،مما هيأ لعرض المنحنيات النهائية التصميمية للنافورة المائية في الاتجاهين الافقي والشاقولي وفي أوساط بيئية متجانسة ومختلفة الكثافة . وكان لابد أن يلاحق البحث قذف مياه المجاري اعتبارا من فوهة المصب سواء أكان من فتحة واحدة أو عدة فتحات في جزء رذاذ وانتهاء بالحقل المغمور لمياه المجاري تحت سطح البحر ،موضحا تأثير شكل المصب وعمق البيئة البحرية على عمل المصب وشكل النافورة وبالتالي على عملية انحلال المياه الملوثة في البيئة البحرية .

١ ـ مقدمة :

ان تصريف مياه التلوث المدينية والصناعية والنفايات السائلة الأخرى من خلال المصبات البحرية في مياه البحار والمحيطات أمر معمول به في معظم المدن الساحلية في الدول الاوروبية المتقدمة وفي بعض المدن الساحلية العربية والنامية وهناك معالجات مختلفة تتم لهذه المياه الملوثة قبل تصريفها . ويجب أن يتحدد موقع المصبات وأن تصمم بشكل يسمح بضمان الانحلال الكافي للمياه الملوثة وتلاشي

الجراثيم في هذه المياه ،وترسيب المواد الصلبة ،والا أدى ذلك الى خلق مشاكل تسيء الى بيئة مياه البحر .

وقد وضعت معايير جودة لهذه المياه وذلك في معظم المناطق الساحلية. ان مستوى المعالجة المسبقة لمياه المجاري وتصميم المصبات البحرية يرتبطان بعضهما من بعض من خلال تكاليف تصريف مياه المجاري (الناحية الاقتصادية) بالعلاقة مع درجة تخفيض التلوث في الوسط المائي (الناحية البيئية) .

ان المشكلات الرئيسية الهدروديناميكية البحرية تكمن بشكل أساسي في تحديد عمليات الانحلال لتراكيز الملوثات ومعدلات التصريف للمياه الملوثة التي تتم من خلال الانتشار الاضطرابي (الدوامي) لمياه البحر ،وفي تحديد موقع المصب البحري وتصميمه ،وكذلك في معرفة مواصفات البحر الفيزيائية والديناميكية.

ان المياه الملوثة المصرفة في وسط مائي تخفع بشكل عام لأنواع مختلفة من التأثيرات هي :

- **التيارات :** الدوامة المحلية والتيارات الساحلية وهي تقوم بالمهمة الرئيسية في عمليات انتشار الملوثات وتخفيف تركيزها .
- **الأمواج :** وتحقق خلط ونقل كتلة الملوثات من مكان الى آخر .
- **الرياح السطحية :** وتجرف المواد الطافية كالزيوت فوق سطح البحر .

وعموما فانه في الوقت الذي تساوى فيه كثافة المياه العذبة كثافة المياه الملوثة (مثل مياه المجاري) ،فان كثافة مياه البحر تكون أكبر منها. وهذا هو السبب الذي يجعل مياه المجاري الملوثة الملقاة في البحر تطفو باتجاه سطحه آخذة بشكل نافورة مائية جائشة (Turbulent Jet) تتسع عند تصاعدها في الوسط المائي المحيط مسببة انحلالا (تخفيف التركيز) مميزا للمياه الملوثة. والأمر نفسه ينطبق على مياه التبريد المستخدمة في محطات توليد الكهرباء (المحطات الحرارية أو النووية) والتي تقل كثافتها عن كثافة مياه البحر .

ان مقطع الكثافة بالاتجاه الشاقولي لمياه الوسط المحيط سيتحكم ويضبط قوة التعويم للنافورة من السطح وربما تحكم أيضا في امكانية تحقيق التوازن للنافورة قبل وصولها السطح . ان النافورة المائية للملوثات أثناء تصاعدها من القاع باتجاه السطح تولد تيارات دوامة محلية في الوسط المحيط مسببة عمليات الخلط والانحلال لهذه الملوثات .

وعندما تصل المياه الملوثة الى السطح فان هذا يعني انها أخف من مياه الوسط المحيط (البحر) ولذلك فهي ستخضع الى عمليات الانتشار الجانبي بسبب التناقص التدريجي الافقي للكثافة . وتقوم الرياح بجرف المواد العائمة لتنقلها باتجاه الشاطىء ،وحركة الأمواج ستزيد من الخلط (والتهوية) قرب السطح وسيحدث انتقال كتلة الأمواج انجرافا بطيئا للمياه الملوثة في اتجاه حركة الأمواج .واذا لم يكن هناك تيارات ساحلية فانالمياه الملوثة بفعل الرياح والامواج ستتراكم قرب موقع المصب بانتشار وانحلال ضعيفين يعودان الى الاضطرابات المحلية وفروق الكثافة والخلايا الدورانية المحلية المولدة بواسطة نافورة المياه . ويجب على المصمم عاده أن يعتمد بشكل أساسي على التيارات الساحلية لضمان الانحلال المميز للملوثات عندما تصل الى سطح البحر . ان الانتشار الجانبي الدوامي لمياه البحر سيسبب خلطا مستمرا للمياه

الملوثة مع مياه الوسط المحيط عندما تكون المياه الملوثة قد انتقلت من موقع المصب ،بأمل ابتعادها عن الشاطىء بواسطة التيارات الساحلية . ومع مرور الوقت فان كل المواد القابلة للترسيب ستترسب والجراثيم الضارة بفعل عملية التنقية الذاتية لمياه البحر ستموت. وبذلك يكون من المطلوب والمرغوب به زيادة مدة انتقال الملوثات بين موقع المصب والأماكن التي يمكن فيها للمياه الملوثة أن تسبب مضايقات أو مشاكل مثل شواطىء السياحه وذلك لضمان ترسيب أعظمي للمواد الصلبة وتلاشي الجراثيم وانحلال الملوثات بواسطة الخلط الدوامي.

ان تخطيط نظام التصريف الصحي المذكور سابقا يتضمن تحديد ومعرفة الترتيبات المشتركة المتعلقة بالرذاذ وبطول خط المجرور ودرجة المعالجة التي يجب أن تتفق مع معايير درجات الجودة النوعية المطلوبة بالكلفه الاصغرية. ويمكن أن توضع المعايير كتراكيز أعظمية لبعض الملوثات في المياه بعد معالجتها وصبها ،وعلى سبيل المثال تراكيز الكائنات الحية الدقيقة من عصيات الإشيرشيا كولي (E. Coli) عند مواقع محددة ، وفي هذه الحالة سيتضمن التخطيط تقدير التركيز أو التوزيع التكراري لهذه المكونة (العصيات الجرثومية) في المصدر المائي (البحر) وذلك لمواقع مختلفة مختاره للمصب البحري . ويقوم التوزيع التكراري (Frequency distribution) على :

١ – دراسة احصائية للتيارات الرئيسية . ٢ – تقدير معدل انحلال مياه المجاري لكل حالة خاصة بالتيار (dilution rate). ان معدل الانحلال (انخفاض تركيز مياه المجاري في البحر يعتمد على عمليات فيزيائية عديدة ويمكن ،لأغراض الدراسات الرياضية التحليلية ، أن نصنفها في نوعين ؛ الأول يختص بالانحلال في الحقل القريب (Near - Field dilution) والثاني يختص بالانحلال في الحقل البعيد (for- field dilution).وسنركز في هذه الدراسة على عمليات الانحلال وتوزيعات التركيز في الحقل القريب من المصب البحري ،وسنتناول في عددلاحق عمليات الانحلال البعيد .

وان كل حل تقريبي يضمن الوصول الى دراسة المصبات البحرية من كافة الجوانب المتعلقة بالنواحي الرياضيه الهدروديناميكية وعمليات الخلط والانحلال والانتشار للملوثات في البحر،وبشكل علمي ودقيق يجب أن يستند الى حل معادلات الاستمراريه (المصونية) والحركة الهندسية . وان المنهجين الأساسيين الذين يمكن الاستفادة منهما هما نظام التحليل التفاضلي (differential analysis) ونظام التحليل التكاملي (integral - analysis).

ان النظام التفاضلي يقود الى حل المعادلات التفاضلية الجزئية العامة للحركة (motion) والانتشار (diffusion) حتى نصل الى حساب توزيعات السرعة والتركيز . وان نظام التحليل التكاملي يفترض أنه يوجد شكل خاص للانحراف الجانبي (Lateral variation) لكل من توزيعات التركيز والسرعة ،وكل النماذج التي سنناقشها تستند بشكل رئيسي الى التحليل التكاملي . ان تحديد النشاط الهيدروديناميكي البحري يتم من خلال تقسيم عمليات انحلال الملوثات الى ظاهرتين مستقلتين ؛ الاولى تتعلق بديناميك المياه والانحلال الناتج للسافورة المائية

العائمة الجياشة والصاعدة من موقع المصب أي دراسة الحقل القريب أولا والثانيه تكمل الاولى بمعنى دراسة تطبيق معادلة توازن الكتلة للخلط الجائش في التيارات الأفقية (الجانبية)، أي دراسة الحقل البعيد . ونكتفي في تحديد الحقل القريب بطرق التكامل الرياضية وبنماذج ذات بعدين لتحديد الحقل البعيد . وبتركيب الظاهرتين المذكورتين فاننا نستطيع أن نتنبأ بدقة الانحلال(تخفيف التركيز) الناتج للمياه الملوثة المصرفة بواسطة المصب البحري .

٢ – الانحلال في الحقل القريب :

ان معدل انحلال مياه المجاري يعتمد على استقرار حقل مياه الصرف (Sewagewater field) وخاصة تدرج الكثافة عبر المقطع مابين مياه المجاري ومياه البحر المحيطة . فاذا كان الاختلاف في الكثافة كبيرا فعند ذلك يعاق الخلط الجائش(الاضطرابي) ويمكن لمياه المجاري ان ترتفع الى سطح البحر مشكلة حقلا سابحا يتحرك مع التيارات السطحيه ويخفع الى انخفاض ضئيل في تركيز ملوثاته . ويمكن زيادة خلط حقل مياه المجاري عند قذفها عبر المصب في البحر على شكل نافورة(Jet) والذي وجدناه اكثر قربا من التصورات الواقعية لقذف مياه المجاري في البحر .

تجيش نافورة مياه المجاري حول فتحة المصب على شكل حقل دوامي تزيده اضطرابا التيارات البحرية ،واختلاف كثافة مياه البحر بين القاع والسطح الشكل رقم (١) .

واذاكانت مياه البحر ذات طبيعة غير متجانسة الكثافة فانه يمكنها ان تمنع مياه المجاري من الوصول الى سطح مياه البحر . ان حقل مياه المجاري المغمورتحت سطح البحر(Submerged field) يمكن أن يصل الى مستوى أكثر انخفاضا من مستوى سطح البحر مشكلا طبقة مياه مجارٍ حيادية مغمورة - neutral buoyancy (الشكل 2) . وغالبا مايلعب هذا التصاعد والارتفاع لحقل مياه الملوثات ضمن مياه البحر الدور الأساسي في تصميم الجزء الرذاذ (Diffusor) .

آ – نماذج النافورة المائية (Jet models) :

تزيد التيارات البحرية المحيطة بمياه المجاري المقذوفة من فوهة المصب من معدل انحلال الملوثات بحيث تخضع جميع النماذج الى حالة الوسط البحري الذي يحدد هذا المعدل .

يتم تصريف مياه المجاري في الوسط البحري في احدى بيئتين :

١ – بيئة بحرية متجانسة (Uniform environmenent)

٢ – بيئة بحرية عير متجانسة ذات ترديب طبقي خطي من حيث الكثافة اي بيئة متدرجة الكثافة خطيا - Linearly) stratified environment) الشكل رقم (٢) .

وعمليا فان مياه المجاري تكون اخف من مياه البحر، حيث إن نافورة مياه المجاري تصل دوما الى سطح البحر في حال البيئة المتجانسة ،وفي حال البيئة المختلفة الكثافة (غير المتجانسة).وعلى امتداد الطبقات المتراكبة من القاع حتى سطح البحر فان كثافة مياه الوسط المحيط تتناقص كلما ارتفعنا عن نقطة المصب عند قاع البحر ،ولذلك فان نافورة مياه المجاري (Jet) وفي نقطه معينة يمكن ان تصل الى مستوى مياه محيطة تعادلها في الكثافة أو تقل عنها . وفي هذه الحالة تصل النافورة الى نقطة في

الطبقة الحيادية تحت سطح البحر(النقطة التي تكون فيها كثافة مياه النافورة مساوية لكثافة مياه الوسط المحيط.وهذا يعني استقرار مياه النافورة عند مستوى محدد) . ومن المحتم أن تحدث حول هذه النقطة بعض التقلبات المائية . ان نافورة المياه سوف تستمر بالصعود عابرة النقطة الحيادية بسبب تدفق كمية الحركة الشاقولية المتبقية وتدخل الى منطقة تكون فيها مياه النافورة أثقل من المياه المحيطة. وعندما ينتهي تدفق كمية الحركة الشاقولية فان النافورة تعود لتنخفض باتجاه نقطة الطبقة الحيادية . والآن يحرض تدفق كمية الحركة من جديد هذه الكتلة في المياه فتنخفض النافورة المائية تحت النقطة المحايدة داخل المنطقة التي تكون فيها النافورة أخف من المياه المحيطة ،وهكذا تستمر هذه العملية صعودا وهبوطا. ويحدث من خلال هذه الذبذبات بعض الانحلال لمياه المجاري في النافورة. ويسمى المستوى الذي ستستقر مياه المجاري أخيرا (Zt) بالمستوى النهائي (Terminal level). ومن الطبيعي أن نفترض لسهولة الحل أن أشكال السرعة (U) والتركيز (C) وتناقص الكثافة (ΔP) متشابهة على كل المقاطع في قوس النافورة (Jet trajectory)وأكثر التوزيعات العامة مشابهة لهذه الأشكال وأقرب للتعبير عنها فعلا هو توزيع غوص الذي اعتمدناه في هذا المجال وفيما يلي معادلاته ،الشكل رقم 3)

$$U(S,r) = U_m(s) \exp(-r^2 / b^2) \quad (1)$$

$$C(S,r) = C_m(S) \exp(-r^2/(b)^2 \quad (2)$$

$$\Delta P(S,r)= \Delta P_m(S) \exp (-r^2/ (\lambda b)^2 \quad (3)$$

حيث : سرعة النافورة = U

محور الاحداثيات الشاقولي = S
في توزيع غوص .

محور الاحداثيات الافقي = r
في توزيع غوص .

الفرق بين كثافة مياه الوسط = P
المحيط P_a وكثافة النافورة P

$\Delta P = P_a - P$

طول يحدد من خلال مقطع = b
السرعة وعموما w المعرفة بالعرض الوسطي
الاعتباري للنافورة = $b\sqrt{Z}$.

نسبة الانتشار بين السرعة والكتلة = λ
أو نسبة تبادل الكتلة الجائشة الى تبادل قوى الدفع (كمية الحركة) وهي تمثل الامتداد العرضي للنافورة (مرة λ للعرض b $(\lambda b = b)$.

ان نسبة الانتشار (λ) تحسب من خلال الملاحظات والمشاهدات التجريبية التي تبين انتشارا جانبيا أقوى للكتلة عما هو للسرعة . والقيم المرجعية المسجلة لـ (λ) تتراوح مابين 1 الى 1.4 .

ان ادخال عامل نظري سميناه هنا α (Coefficient entrainment) هو أمر مطلوب لتحديد الانفتاح التوسعي لنافورة المياه في الوسط المحيط . وهذا مايمكن ملاحظته في معادلة مصونية الحجم ،وهذا يعني أن انحلال وانتشار النافورة قد حرض بواسطة الجريان في الوسط المائي المحيط عبر حدود الـ (Jet) الى معدل متناسب طردا مع سرعة الـ(Jet) عند الخط المركزي (Centre Line). وتعطي المصادر العلمية (1 , 2) القيمة التجريبية (α) مابين 0.05 و 0.08 ($0.05 < \alpha < 0,08$) ويحدد هذا العامل أيضا بشكل مشابه العلاقة بين سرعة الخلط V عند صدور الاشعاع المعتبر والمدروس والسرعة المحورية المقابلة لـ

U_m بالشكل التقريبي $V = \alpha . U_m$

ولوضع نماذج النافورة المائية بشكل رياضي اعتمدنا دراسة المقاطع الجانبية لمنحنيات تركيز الملوثات وسرعة النافورة وتناقص الكثافة البحرية ،في وسط بيئي غير متجانس ،مما أوصلنا الى المعادلات التالية المبنية على قوانين التوازن لمصونية الحجم والحركة وتناقص الكثافة وعلى قانون مصونية الكتلة . الشكل رقم٣.

- مصونية الحجم :(الاستمرارية Continuity

$$\frac{d}{ds}\int_0^\infty 2\pi\, rudr = 2\pi\, b\alpha\, U_m$$

$$\frac{d}{ds}\,(Umb^2) = 2\alpha\, Umb \qquad (4)$$

- مصونية كمية الحركة (جريان الدفع بالاتجاه الافقي)

(horizontal impulsflow or momentum conservation)

$$\frac{d}{ds}\int_0^\infty 2\pi\, r\rho u\,(u\,\mathrm{Cos}\,\theta)\,dr = 0$$

$$\frac{d}{ds}\,(\tfrac{1}{2}\,u^2{}_m b^2\,\mathrm{Cos}\,\theta) = 0 \qquad (5)$$

- مصونية كمية الحركة (جريان الدفع بالاتجاه الشاقولي)

(Vertical impuls- flow)

$$\frac{d}{ds}\int_0^\infty 2\pi\, r\rho u(u\sin\theta)\,dr =$$

$$g\int_0^\infty 2\pi\, r\,(P_e - P)dr$$

$$\frac{d}{ds}\left(\frac{u_m^2 b^2 \sin\theta}{2}\right) = g\lambda^2 b^2 \Delta Pm/pa \qquad (6)$$

- مصونية تناقص الكثافة أو(تيار الطفو) لوسط غير متجانس

(Conservation of density dificiency)

$$-\frac{d}{ds}\int_0^\infty 2\pi r(p_a - p)gu\,dr =$$

$$2\pi\, b\alpha\, um(p_a - P_n)\, g$$

$$\frac{d}{ds}\,(Umb^2\,\Delta Pm) =$$

$$\frac{1+\lambda^2}{\lambda^2}\,.b^2.U_m.\frac{d\,P_m}{ds} \qquad (7a)$$

وفي حال الوسط المتجانس باهمال تغير الكثافة مع العمق فان المعادلة تصبح :

$$\frac{d}{ds}(U_m b^2\,\Delta P_m) = 0 \qquad (7b)$$

- مصونية الكتلة (Conservation of mass)

أو (تركيزالملوثات) :

$$\frac{d}{ds}\int_0^\infty 2\pi\, rCudr = 0$$

$$\frac{d}{ds}\,(C_m U_m b^2) = 0 \qquad (8)$$

- وبالانتقال من محاور النافورة (r , S) الى المحاور الأساسية الممثلة للوسط البحري (X , Z) نحصل على العلاقتين الهندسيتين التاليتين :

$$\frac{dX_m}{dS} = \cos\theta \qquad (9)$$

$$\frac{dZ_m}{ds} = \mathrm{Sin}\,\theta \qquad (10)$$

ان المعادلات الواردة من الرقم 4 حتى 10 تعالج تحليليا اشعاعات المياه المتصاعدة الطافية بقوى دفع وبحركة جيشان كاملة وذلك في وسط غير متجانس (متراكب في طبقات الكثافة) وتكون حركة النافورة بامتداد جانبي كبير جدا يصح عليها ملامسات بسيطة اعتيادية لطبقات الكثافة وبحسب فرضية بواسونك

(Boussinesq) وهو اختلاف صغير في الكثافة) مع اهمال النتوءات "شذوذات الحركة) في محور شعاع مياه النافورة (الشكل رقم 3) .

في استخراجنا للمعادلات السابقة اعتمدنا على مفاهيم علمية تشرحها كل معادلة كما يلي :

* ان معادلة الاستمرارية (4) (مساوية لنظرية الخلط) تقول ان تزايد الحجم في اتجاه اشعاعات المياه يجب أن يساوي التدفق المختلط الجانبي في كل وحدة طول .

* المعادلة (6) تبين أن تزايد خط الدفع (كمية الحركة) في الاتجاه الشاقولي يساوي قوى الدفع الفعالة (دافعة أرخميدس) لكل وحدة طول في حين أن خط الدفع بالاتجاه الافقي وبغياب القوى الخارجية يبقى ثابتا بحسب فرضية المصدر (5) . المعادلة (7a) تقوم على أن تغير خط الدفع (قوة الطفو في كل وحدة زمن) منسوبا الى الكثافة P_o سيساوي قوة الرفع لكل وحدة طول من تدفق الحجم المختلط .

وفي حال وسط متجانس فان خط الرفع يكون ثابتا (المعادلة 7b) المعادلة (8) تعتمد على أن خط الحجم المصون (مصونية الكتلة . وبمعنى أكثر وضوحا عدم خضوع الملوثات فيها لأي عملية هضم) لمستوى حيادي متحرك خاص بتركيز الحجم C يكون على طول شعاع النافورة (Jet) ثابتا . وفي حالة الصب غير العمودي لاشعاعات النافورة فان محور الاشعاعات يكون على شكل منحى مقوس .

* المعادلتان (9 و 10) تحددان موقع محور الاشعاع من خلال العلاقات الهندسية الواضعة لمنحى النافورة (Jet trajectory) في المستوي XZ .

اذا ماطبقت المعادلات السابقة في مجالي السرعة والتركيز فعندذلك يمكن اجراء التكامل لهذه المعادلات في الاتجاه الدائري ونحصل بذلك على نظام من مساواة تفاضلية عادية بمتحول وحيد مستقل S .

ويتكون لدينا بذلك سبع معادلات تفاضلية من الدرجة الأولى لسبعة مجاهل : شعاع السرعة U_m ، عرض شعاع النافورة b تناقص الكثافة ΔP_m ، موقع محور الاشعاع لـ Jet Z,X ، تركيز الملوثات C_m

$(C_m.\theta\ ,\ Z,\ X,\ \Delta P_m,\ b,\ Um)$

والمعادلات السابقة (1 - 10) تتضمن العاملين المحسوبين تجريبيا .

وتحل هذه المعادلات لأجل قيم أولية معطاة ممثلة لمرحلة البدء بطرق عددية .

فمثلا يمكن أن يتم تكامل المعادلتين 7 و 8 بسرعة من خلال الشروط الابتدائية

$$U_m.b^2.\Delta Pm = Const = Uo.bo^2.\Delta Po \quad (11)$$

$$C_m.U_m.b^2 = Const.=Co.Uo.bo^2 \quad (12)$$

المؤشر (0) يدل على بدء نقطة التصريف .

- ومن المعادلتين (11) و(12) نلاحظ أن انحلال الملوثات (dilution) عند الخط المركزي (S_m) يمكن أن يرتبط بتناقص الكثافة ΔP على النحو التالي :

$$S_m = Co\ /\ Cm$$

ان نظام حل المعادلات التفاضلية المذكورة لايمكن أن يتم بشكل تحليلي اعتيادي .

ويجب أن يتم تكامل المعادلات بطرق عددية وعلى سبيل المثال بواسطة طريقة التكامل من الدرجة الرابعة والمعروفة باسم رانج - كوتا (Rung - Kutta) والتي سنعرض نتائجها لاحقا . ان نظام المساواة المطروح سابقا (المعادلات السبع) يمكن أن يطبق لحساب حقل التدفق لاشعاعات

مياه المجاري الدائرية المرفوعة والمصحوبة بقوى دفع وذلك لأجل أية فتحات رذاذية على المصب ولاجل اي وسط متجانس .

الشكلان (4 و 5) يعرضان الحلول لحالة تدفق أفقي في وسط متجانس وهما يعطيان معلومات هامة جدا عن حقل تدفق مياه المجاري لمصبات بحرية في وسط هادىء متجانس وبذلك نستفيد منهما في حل المعادلات السابقة لوسط بحري غير متجانس. الشكل 4 يمثل منحى محور الاشعاعات لاعداد فرودالمختلفة. ففي الحالة الحدية Fo=صفر(اشعاع رفع أو طفو فقط) فان محور الاشعاع يتطابق مع المحور Z ،ومع تزايد عدد فرود – بمعنى تزايد أهمية خط الدفع الأفقي – فان الاشعاع سيأخذ الوضع الجانبي ولكنه يميل دوما ليأخذ الوضع الشاقولي في النهاية .

ففي حالة اشعاع دفع أو كمية حركة فقط أي Fo = لانهاية عند ذلك يتطابق محور الاشعاع مع المحور X .

وفي الشكل 5 تجد أن قيم الانحلال (تخفيف التركيز للملوثات في مياه المجاري) (S) بالعلاقة مع الارتفاع التصاعدي (Z/D_o) ومع عدد فرود ممثلة يوضوح ،والقيمة (S)معرفة هنا كنسبة مقلوبة لتركيز الملوثات C_m الى التركيز الأصلي C_o عند فتحة الرذاذ وعلى محور الاشعاع وفق مايلي :

$$S_m = Co / Cm$$

ان حلولا تحليلية تجريبية قد مثلت للمعادلات التفاضلية المذكورة سابقا في المصدرين (4) و (5). فمن خلال انتاج علاقة تجريبية نصفية للقوس الصاروخي (النافورة) (Jet trajectory)

وبوضع $\lambda = 1$ و $\alpha = 0.056$ وبحسب المصدر (4) فان النتيجة تعطى بالحل التالي : فلاجل الانحلال عند الخط المركزي:

$$S_m = 0.54 Fo (Z/(D_o F_o)^{7/16} \quad \text{for}$$

$$\frac{Z}{Do} < 0.5\ F_o \qquad (14)$$

$$S_m = 0.54 Fo (o.38\ \frac{Z}{D_o F_o} + 0.66)^{5/3} \quad \text{for}$$

$$\frac{Z}{D_o} > 0.5\ Fo \qquad (15)$$

حيث يعطى عدد فرود (كمقياس الكثافة) :

$$Fo = Uo / \sqrt{(\Delta Po/po).g.D_o}$$

ويمكن أن يعلل هذا العدد بنسبة خط الدفع (كمية الحركة) الى رفع (دافعة أرخميدس) مياه الصب . ويمكن أن يستنتج منها انه في حال العدد الحر التقليدي (شعاع الدفع بدون رفع) يكون Fo= ∞ وفي حال اشعاع الرفع فقط دون دفع يكون Fo = صفر .

حيث ان :

قطر النافورة(jet) عبر نقطة التصريف = Do

سرعة التصريف = $Uo\ (Qo/\frac{\pi D_o^2}{4})$ =

غزارة التصريف = Q_o

الجاذبية الارضية = g

البعد الشاقولي من نقطة التصريف = Z

ونجد أن انحلال الملوثات (dilution) يمكن ان يعبر عنه بعاملين وسطيين لاواحدة لهما : $\frac{Z}{Do}$ و Fo . وعدد فرود Fo (كمقياس الكثافة) يصف النسبة بين كمية الحركة للتصريف الابتدائي والتسارع الابتدائي المحرّض بواسطة دافعة الطفو ولاجل سرعات تصريف صغيرة فان Fo تكون صغيرة

ويمكن أن نختصر المعادلة (15) الى الشكل التالي :

$$S_m = 0.108\ F_0^{-2/3}\ (Z / D_0)^{5/3} \qquad (16)$$

ويلاحظ انه مادام F_0 متناسب طرديا مع $D_o^{-5/3}$ لتصريف معطى ، فعند ذلك الانحلال S_m يكون مستقلاً عن D_0 .

المصدر (5) ، من جهة أخرى ، يفترض أن قيم λ و α مرتبطة بزاوية النافورة المحلية θ . ولكن نرى من الشكل 6 أن الفارق بين الحلين التجريبيين عن طريق المصدر(4)

والمصدر (5) يكون صغيرا .

وهذا يعني أن الحلين متقاربان جدا ، والمصدران (6) و (7) يعطيان أيضا بالتفصيل النتائج المخبرية الخاصة بقيم λ و α . ان المعادلات النهائية الخاصة بتصريف النافورة في بيئة غير متجانسة تعتبر أكثر تعقيدا من التصريف في حالة البيئة المتجانسة .التحليل السابق لنتائج الأشكال (4 , 5 , 6) وتقارب نتائج مصادرها الى درجة تقترب من التطابق يدلنا على صواب اعتمادنا عليها لاستقراء وتقدير قيم انحلال الملوثات في الوسط البحري غير المتجانس .

ب – منحنيات النماذج الرياضية التقديرية لانحلال :

مجموعة الحلول العددية الشاملة لمجمل المعادلات التفاضلية السابقة مثلناها في منحنيات نهائية متضمنة النافورات (Jets) المائية الدائرية في اتجاهين وفي أوساط بيئية متجانسة وغير متجانسة (تغير الكثافة مع العمق) وأخذت هذه المنحنيات الأشكال ذات الارقام (7 , 8 , 9, 10,11) والتي استفدنا في تصويب قيمها العددية التحليلية من نتائج المصدرين (8, 9) اللذين عالجا وبشكل خاص المصدر 9 موضوع منحنيات النافورة المائية بشكل تجريبي . كما أفدنا من قيم الحلول التجريبية للمصدرين (4 و 5) .

والشكلان رقم 7 و 8 يعطيان الحلول (مسار النافورة ، العرض النصفي للنافورة ، انحلال النافورة) لنافورة دائرية في بيئة مستقرة متجانسة $dpa / dz = 0$ الاشكال 9 , 10 , 11 تعطي الحلول (عوامل الانحلال النهائية) لنافورة دائرية في وسط غير متجانس متغير خطيا مع الكثافة ($dpa/ dz \neq 0$) .

فيما يلي نقدم شرحا تحليليا للمنحنيات السابقة مع ايراد العلاقات التصميمية الخاصة بها وذلك ضمن المحاور الأساسية (XZ) ، وفي حالتي نافورة مائية في بيئة متجانسة ونافورة مائية في بيئة غير متجانسة

١ – نافورات دائرية في بيئة متجانسة :

الشكل رقم 7 يمثل منحني المسارات لنافورات أفقية يتغير فيها عدد فرود F_0 من ١ حتى 128 . الخطوط المقاطعة في الشكل تجعل من الممكن تحديد قيم العرض المختلفة (b) وعلى طول محور النافورة m_0 ، كعامل بدون واحدة يصف خط المصونية الابتدائية في النافورة . وترتبط m_0 بـ F_0 بالعلاقة

$$m_0 = 0.374\ F_0^{4/5} \qquad (17)$$

الشكل رقم 8 يعطي الانحلال المركزي كتابع لـ Z و m_0 وعندما تكون قيم الانحلال عند $\zeta \sqrt{m_0}$ اكبر من 50 فنحصل عند ذلك على قيمة S_m من العلاقة :

$$S_m = 0.46\ \zeta^{5/3} \qquad (18)$$

المحاور ζ و ζ والتي هي في شكل غير مميز

بواحدة والممثلة في الشكلين 7 و 8 محددة في المنحنيات ،بمعنى أن المحاور الفيزيائية X و Z ترتبط بـ η و ζ بالشكل التالي :

$$X/D_0 = 4.32\ \eta\sqrt{m_0} \qquad (19)$$

$$Z/D_0 = 4{,}32\ \zeta\sqrt{m_0} \qquad (20)$$

٢ – نافورات دائرية في بيئة غير متجانسة (متغيرة الكثافة خطيا) :

في هذه الحالة يكون من الضروري تعريف عدد أكبر من الوسطاء (العوامل). فالانحلال S يميز من خلال العامل μ والذي هو عامل يصف الدفق الحجمي :

$$S = 1.15\ \mu / \mu_0 \qquad (21)$$

والعاملان μ_0 ، m_0 (عامل الدفق الحركي) يرتبطان بدورهما بالعامل T الذي يصف الوسط غير المتجانس(متدرج الكثافة) :

$$T = \frac{Pao - Po}{-D_0(dpa/dZ)} = \frac{\Delta Po}{-D_0 \cdot U_1} \qquad (22)$$

وبما أن μ_0 و m_0 تعتمد على F_0 و T معا ، فتصبح العلاقة كما يلي :

$$m_0 = 0.324\ F_0^{\ 2}/T \qquad (23)$$

$$\mu_0 = 2.38\ F_0^{\ 1/4} / T^{\ 5/8} \qquad (24)$$

وأكثر من ذلك فان عامل المقياس S يمكن أن يحدد من خلال الابعاد الافقية والشاقولية $\frac{X}{D_0}$ و Z/D_0 الخالية من الوحدات (أي في شكل غير مميز) بالشكل التالي :

$$X / D_0 = \zeta\mu \qquad (25)$$

$$Z / D_0 = \zeta\zeta \qquad (26)$$

عامل المقياس ζ يرتبط بـ F_0 و T بالعلاقة

$$\zeta = 1.37\ F_0^{\ 1/4} \cdot T^{\ 3/8} \qquad (27)$$

ويمكن أن يحسب نصف عرض النافورة عند المستوى النهائي

(Jet terminal half width) (Wt)

بالعلاقة :

$$Wt = 0.232\ \zeta\ D_0 ut\ /\ m_0^{\ 1/4} \qquad (28)$$

المؤشر t يعود الى النقطة النهائية

(terminal point)

ج – دراسة الطبقات السطحية من النافورة الغاطسة (المغمورة تحت سطح البحر) :

وحتى تكتمل دراسة النماذج الرياضية لنافورة المائية فانه يلزمنا تحديد سماكة طبقة الحقل المغمور لمياه المجاري تحت سطح البحر ،والممثل لنهاية امتداد النافورة .

اذا وصلت النافورة الغاطسة في المياه (Submerged Jet) الى سطح البحر فعند ذلك يمكن لها ان تنتشر في الطبقة العليا من المياه . ويمكن أن يكون للنافورة طاقة مصونة متبقية عند وصولها الى السطح. وعند هذه الحالة لن تستقر على السطح وانما ايضا تتحرك أفقيا بسرعة معتبرة بسبب الطاقة الكامنة التي تملكها . ان حقل مياه المجاري الواصل الى سطح المياه ستبقى كثافته اقل من كثافة الوسط المحيط وبالتالي سيؤدي ذلك الى انتشار جانبي لمياه المجاري (الملوثات) بسبب انحدار الكثافة الأفقي . وحتى الآن لاتتوفر أجهزة خاصة كافية تمكننا من تحديد سرعة

انتشار حقل مياه المجاري.المصدر(10) يعطي ملاحظات استكشافية من خلال سلسلة من التجارب العديدة والمكثفة في مياه البحر والتي تبين بالنتيجة أن السماكة الوسطية للطبقة المتكونة على السطح كانت تساوي تقريبا $\frac{1}{12}$ من طول النافورة المقيسة على طول المحور من نقطة التصريف (فتحة المصب البحري) حتى سطح المياه (عمق المصب تقريبا) . وفي حالة نافورة مائية صغيرة ضيقة (Slot Jet) المصدر (5) تعطي سماكة الطبقة مساوية الى حوالي $\frac{1}{4}$ من طول خط مسار النافورة.

وحتى يمكن لنا حساب السماكة الشاقولية الابتدائية لحقل مياه المجاري عند مركزه ،وضعنا العلاقة التالية التي ترتكز على حالات الاستمرارية للجريان الكلي (مياه المجاري + مياه الوسط):

$$S_m \cdot Q_0 = U_h \cdot d \cdot B$$

d = سماكة الحقل بالمتر

Q_0 = غزارة التصريف م٣ /ثانية

درجة الانحلال الوسطية عند مركز الحقل = S_m

U_h = سرعة التيارات الافقية

B = طول الجزء الرذاذ

(B يساوي عدد الفتحات للرذاذ × البعد بين كل فتحتين متتاليتين).

ان حقل مياه المجاري سيكون له عرض $2b$ يساوي عند البدء تقريبا طول مقطع الجزء الرذاذ والذي يحدد عادة من $y_0/3$ حتى $y_0/4$ ويكون متوضعا على طول الخط الطبيعي لاتجاه التيارات .

وهذه نقطة مفيدة ومهمة عند دراسة الانتشار الجانبي (Lateral diffusion) للحقل في المجال البعيد (far - Field) (الشكل رقم 12) . ان النافورة الطافية (buayant jet) بقيمة منخفضة لعدد فرود (كمقياس الكثافة) والمتوضعة في مياه عميقة تنتج طبقة سطحية مستقرة.وهي حالة تمكن من تحديد الانحلال في الحقل القريب وبدقة مقبولة بواسطة النماذج المشروحة سابقا(الشكل 12). حتى نؤكد الخلط الشاقولي الفعال وبالضبط بدءا من الحقل البعيد (far - field) والذي يعتبر المجال الرئيسي الفعال لعمل النافورة ،فانه يجب تخفيض تناقص الكثافة (density deficiency) حتى قيمة معينة . فالمصدر (١١) اقترح قيمة حرجة 0.5 كغ :/ م٣ وتحت هذه القيمة تستطيع التيارات المضطربة الدوامة للوسط المحيط أن تكسر الترابط أو التداخل مابين مياه المجاري ومياه البحر . وهذا يعني أنه لأجل مياه بحر بكثافة 1025 كغ / م٣ ومياه مجاري بكثافة 1000 كغ / م٣ فان قيمة انحلال مياه المجاري عند السطح ستكون 50 . ان قيمة S_m = 50 تبدو كضابط تصميمي يمكن أن يوصى به على الأقل لتجاوز مشكلة النقص في الحصول على التحاليل الكافية للموضوع المطروح أعلاه.

د ـ المصب الرذاذ عديد الفتحات :
Multiport diffusers

ان تصريف مياه المجاري من خلال مصب رذاذ عديد الفتحات يمكن ان يكون الطريق الوحيد لتحقيق متطلبات انحلال الملوثات في الحقل القريب. وتعرف بنيوية التصريف لهذه المياه في هذا الجزء الرذاذ المتعدد الفتحات المحدد بخروج مياه المجاري من المصب البحري من خلال سلسلة فتحات صغيرة متتالية في الجزء الأخير من المصب . ان فعالية الرذاذ تكون في زيادة الانحلال الابتدائي بواسطة تصريف مياه المجاري على حجم واسع من وسط المياه البحرية المتلقية. ان معظم نظم

لرذاذ المتعدد الفتحات تكون في تصريف المياه الملوثة بالاتجاه الأفقي وذلك لزيادة مساحة النقل الى القيمة الأعظمية وبالتالي زيادة فعالية الانحلال قبل أن تصل المياه الملوثة الى السطح . وغالبا ماتوضع الفتحات في اتجاهات متبادلة اي فتحة تقع في أسفل الرذاذ والتالية في أعلاه ،والتي تليها فتحة في الاسفل وهكذا الخ .... وفي مثل هذا التنظيم المتبادل للفتحات من جهتي الرذاذ فان المياه الخارجة منها تشكل مستويين اشعاعيين يتحدان في النهاية ليشكلا مستوى شعاعيا واحدا . واذا كانت الفتحات بعيدة بعضها عن بعض بشكل كاف حيث إن مياه الملوثات الخارجة من الفتحات المنفصلة (كل على حدة) لاتلتقي بعضها عن بعض قبل وصولها السطح ،فعند ذلك فان النماذج السابقة المطروحة لنافورات دائرية تكون قابلة للتطبيق مباشرة من اجل تحليل ودراسة كل فتحة على حده . أما اذا كانت المسافة بين الفتحات (L)صغيرة كفاية مقارنة بعمق المصب(Z) فعند ذلك تتطابق النافورات كليا أو جزئيا . وان مثل هذا التداخل في النافورات سيخفض من درجة الانحلال لملوثات مياه المجاري ولذا يجب طبعا قدر الامكان تجنبه (الشكل رقم 13).

ان استخدام فتحات عديدة بأقطار أصغر مع ثبات مساحة الجزء الرذاذ الحامل لهذه الفتحات دون تغيير سيزيد من قيمة فعالية عملية الانحلال (S_m) . ان تصريف مياه المجاري من خلال اشعاعات عديدة دائرية في سلسلة فتحات موجودة على الجزء الأخير من المصب البحري يلزم أن يختبر تبعا للمعطيات المحلية المتوفرة لأجل تحديد أبعاد الفتحات L وارتفاع صعود النافورات المائية ،ومراقبة ما اذا كانت النافورة المائية كوحدة مستقلة تصل الى حقل مياه المجاري وتدخله أم أنها تتحد كلها (نافورات الفتحات) معا لتشكل سطحا شعاعيا واحدا (الشكل 13).

فيما يلي نعرض لدراسة تأثير عمق البيئة البحرية على عمل الجزء الرذاذ وبالتالي على انحلال الملوثات .

١ – الجزء الرذاذ الغاطس في بيئة مائية مستقرة متجانسة عميقة :

الشكل رقم 14 يبين نتائج سلسلة تجارب مخبرية مكثفة جاءت في المصدر (6)؛الجزء الرذاذفيها مؤلف من فتحات موضوعة باتجاه تبادلي . ومنحنيات الشكل تعطي انحلال التركيز (تمدد التركيز) عند الخط المركزي (S_m) كتابع لـ $\frac{Z}{L}$. الخطوط السفلى من الشكل رقم (14)توصلنا الى نتيجة وهي أنه في حالة نافورة افرادية (Single jet) ولاجل $Z / L < 5$ فانه ليس هناك اختلاف مميز في قيم الانحلال (dilution).

المعطيات التي جاءت في المصدر (6) تشير الى ان الارتفاع(Z_m) والذي عنده تطفو النافورة يمكن أن يحدد تقريبا من العلاقة :

$$Z_m = F_0 \cdot L \qquad (29)$$

فعلى سبيل المثال وعندما نفترض أن القيم تكون كما يلي :

$F_o = 10$

$Z = 20\ m \qquad D_0 = 0.3\ m \qquad L = 1.5$

فعند ذلك $\frac{Z}{L} = \frac{20}{1.5} = 13.3$

و $\frac{Z/D_0}{F_0} = 6.7$

من الشكل رقم 14 نقرأ من القيمتين السابقتين مايلي:

$$\frac{Z / D_0}{S_m} = 2.5$$

$$S_m = (20 / 0.3)/2.5 = 26.7$$

اذا زادت قيمة (L) البعد بين الفتحات الى 4.5 متر فعند ذلك

$$4 = \frac{20}{4.5} = \frac{Z}{L}$$

ومن الشكل 13 نجد :

$$(Z/D_0) / S_m = 1.4$$

اي ان :

$$S_m = 47.6$$

وكما هو متوقع ،يتحقق انحلال أكبر من خلال بعد أكبر بين فتحات الرذاذ ،وطبعا فان زيادة المسافة بين الفتحات يعني تكاليف أكبر للجزء الرذاذ بسبب زيادة طوله ،ولهذا يجب على المصمم هنا ان يبحث عن موازنة بين المعالجة (تحقيق الانحلال الامثل) والكلفة .

٢ ـ الجزء الرذاذ الغاطس في بيئة مائية ضحلة وجارية :

في حالة الرذاذات في جسم مائي ضحل فان مياه المجاري تميل الى الخلط الكامل في الاتجاهين الجانبي (Lateral) والشاقولي معا ويكون التركيز الأعظمي على السطح مساويا تقريبا لتركيز الخليط الكلي .

المصدر (15) درس هذه الحالة من الناحيتين التحليلية وبنماذج فيزيائية معا . ففي البدء اعتبر الباحثون نظام مجرى قناة محرضة من خلال التصريف ذاته ولقد توضعت الفتحات في المستوى الطبيعي لاتجاه الجريان وعلى بعد L بين الفتحات. كما افترض أن الجريان في القناة متجانس شاقوليا وجانبيا من حيث السرعة والتركيز أسفل واعلى جريان النافورة . وبالتعبير عن أن الطاقة الداخلة المغذية للنظام من تصريف النافورة المائية تعادل(توازن) الفواقد الحاصلة عند طرفي القناة(المدخل والمخرج) وبذلك توصل الباحثون في المصدر (15) الى العلاقة التالية للانحلال :

$$S = 1.3 \sqrt{L d / (D_0^2)} \qquad (30)$$

حيث d عمق الوسط المائي .

العلاقة (30) تنطلق من حالة مثالية وهي أن الجريان المحرض فيها يكون كبيرا بشكل كاف لمنع ثبات كتلة الملوثات حول الجزء الرذاذ . وعلى أساس هذه النتيجة فان الباحثين (المصدر 15) طوروا نماذج انحلال للتصريف داخل مقطع جريان ثابت خلال جزء رذاذ . وقد استندت التحاليل الى نفس الاعتبارات الطاقية المذكورة سابقا . والان اذا ما أضيفت الى هذه النماذج فواقد الاحتكاك عند قاع الوسط المائي ،نحصل على النتائج التالية :

ففي حالة الفتحات المتوضعة كلها باتجاه تيار الوسط المحيط :

$$S = [(4u_1 Ld)^2 / (\pi u_0 D_0^2)^2 + 8Ld / (5 \pi D_0^2)]^{\frac{1}{2}} \qquad (31)$$

وفي حالة الفتحات المتوضعة كلها بعكس اتجاه تيار الوسط المحيط :

$$S = [(4u_1 Ld)^2 / (u_0 D_0^2)^2 - 8Ld /(3 \pi D_0^2)]^{\frac{1}{2}} \qquad (32)$$

وفي حالة الفتحات المتوضعة بشكل تبادلي :

$$S = 4 u_1 Ld / (\pi u_0 D_0^2) \qquad (33)$$ (**)

حيث u_0 سرعة تيار الوسط المحيط.

وان التصريفات من فتحات الرذاذات تكون موازية لتيار الوسط المحيط . نلاحظ من العلاقة (33) انها تمثل فقط الانحلال الناتج عن الخلط المتكامل بسما أنها تمثل نسبة الجريان من الوسط المحيط عند فوهة مصب ذي فتحة واحدة ($u_1 L d$) الى الجريان عند فتحة واحدة فن فتحات مصب ينتهي بجزء رذاذ ($\pi u_0 D_0^2 / 4$) .

اذا كان تصريف الرذاذ موجها مع تيارات الوسط المحيط (المعادلة 31) فان سرعات الجريان المنحل(diluted flow) عبر مقطع الرذاذ ستكون أكبر من سرعة تيار الوسط المحيط ،وسيكون الانحلال(تمدد الملوثات) أكبر عما هو مقدر في العلاقة (33) . وفي حال أن الفتحات موجهة بعكس اتجاه التيارات فان الانحلال سيكون أصغر (العلاقة 32) .

٣ ـ خلاصة واستنتاجات :

آ ـ نظرا لعدم وجود نموذج شامل ومتكامل لميكانيك التيارات البحرية بهدف التنبؤ بعمليات الخلط والانتقال الحاصلة لمياه الملوثات المساقة بواسطة مصب بحري ،فانه لابد من دراسة هذا الموضوع من خلال ظاهرتين مستقلتين استنادا الى حل معادلات الاستمرارية(المصونية) والهندسية والحركة ،تسمى الظاهرة الاولى:

*** عمليات الانحلال في الحقل القريب**

ودرسناها من خلال نماذج رياضية قائمة على التحليل الهيدروديناميكي للخلط الدوامي للملوثات مع التيارات البحرية بشكل نافورة مائية .

*** عمليات الانحلال في الحقل البعيد :**

لم يتطرق اليها البحث .

ب ـ لنماذج النافورة المائية للملوثات والمقذوفةفي مياه البحر عبر مصب بحري هنالك توزيعات مختلفة ،اعتمدنا منها توزيع غوص لسهولة حله ، ووضح تعبيره عن حالات توزيع الملوثات من خلال عوامل وأشكال السرعة والتركيز وتناقص الكثافة . مع مراعاة العاملين النظريين (عامل الامتداد العرضي λ وعامل الانفتاح التوسعي للنافورة α) وقد استفدنا من القيم التجريبية لهذه العوامل في عرضنا النظري .

ج ـ وضعنا المعادلات الرياضية التحليلية لنماذج النافورة والمبنية على قوانين التوازن لمصونية الحجم والحركة وللكتلة وتناقص الكثافة ،وقد هيأ لنا هذا وضع المنحنيات النهائية التصميمية للنافورة المائية في الاتجاهين الأفقي والشاقولي وفي أوساط بيئية متجانسة ومختلفة الكثافة .

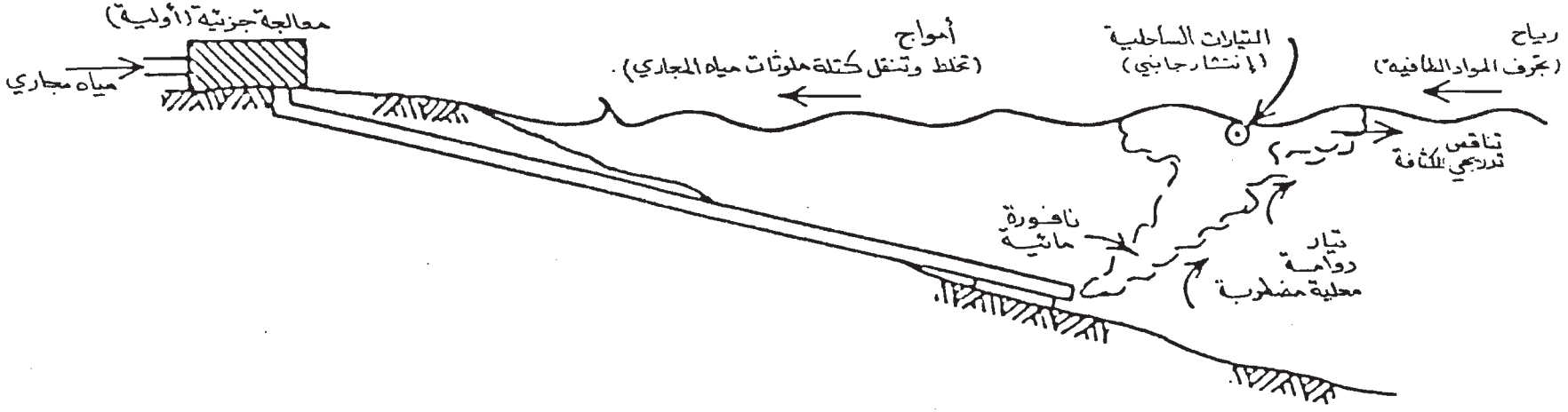
د ـ وضعنا قيما نظرية تحليلية نهائية للنافورة المائية بالاستناد الى نتائج المصادر الخاصة بدراسة النماذج التجريبية لهذه النافورة ،بعد أن اثبتنا تقارب نتائج هذه المصادر الى درجة التطابق .

هـ ـ وضعنا علاقة بسيطة تحدد سماكة حقل مياه المجاري المغمور بمياه البحر،والذي يمثل نهاية امتداد نافورة مياه المجاري.

و ـ ايضاح تأثير نهاية المصب (فتحة واحدة ، أو جزء رذاذ من عدةفتحات) على على الشكل النهائي للنافورة المائية .

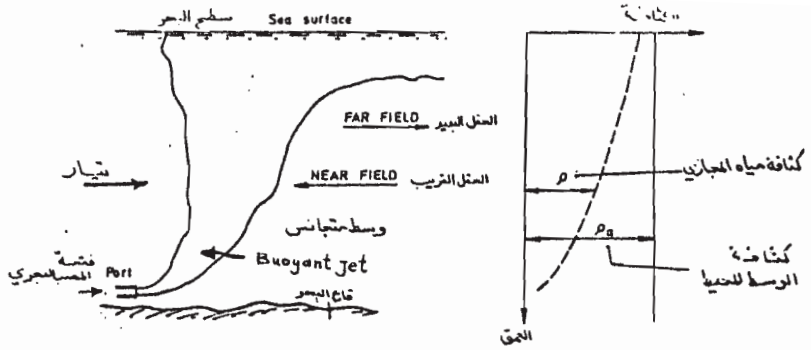
**) ترجمة معطيات الدراسة التنبئية الرياضية لحساب عمليات انتشار الملوثات المقذوفة عبر المصب البحري في الحقل القريب ،واردة في المثال التصميمي الملحق بالبحث الكامل للمؤلف والمعد بناء على طلب وزارة الدولة لشؤون البيئة في القطر ـ ١٩٨٨ ـ والمحفوظ لديها .

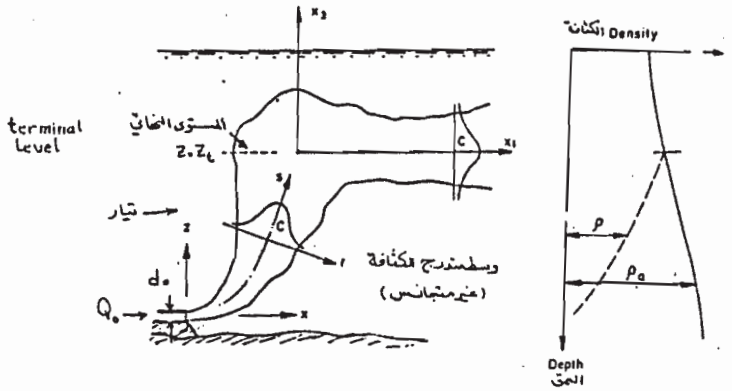
أيضاً : تلاشي البكتريا وترسيب المواد الصلبة



Submarine outfall.

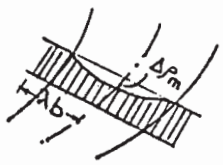
٥- الشكل رقم (١١) نموذج لمصب بحري مع آلية العمل والتأثيرات البحرية.

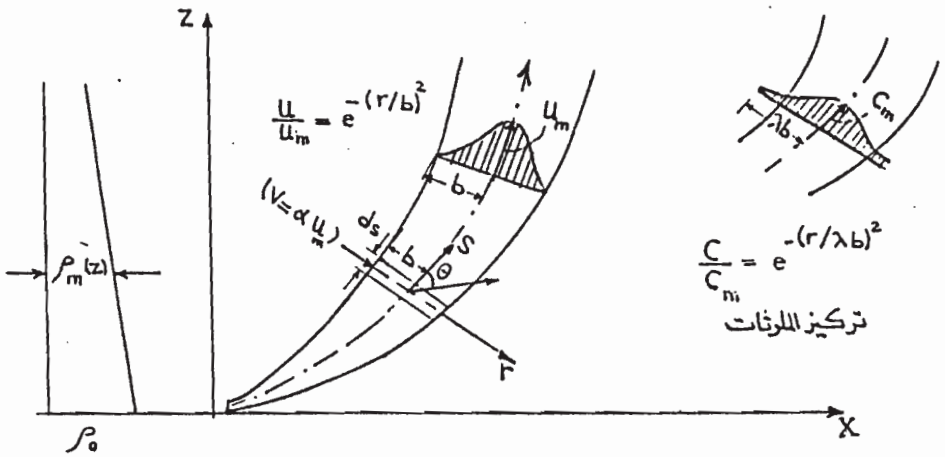




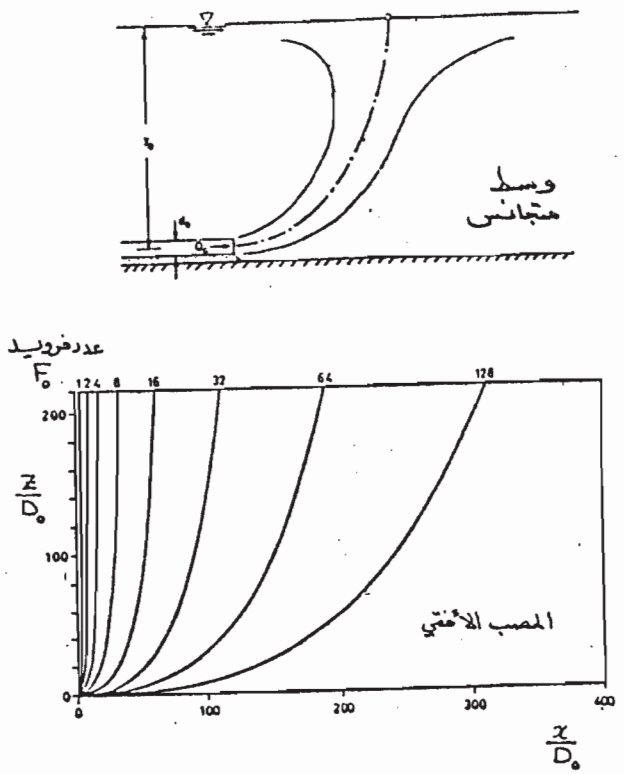
• الشكل رقم (2) : تقريب مياه المجاري في المصبات البحرية على شكل نافورة (Jet) .

تناقص الكثافة $\frac{\Delta\rho}{\Delta\rho_m} = e^{-(r/\lambda b)^2}$



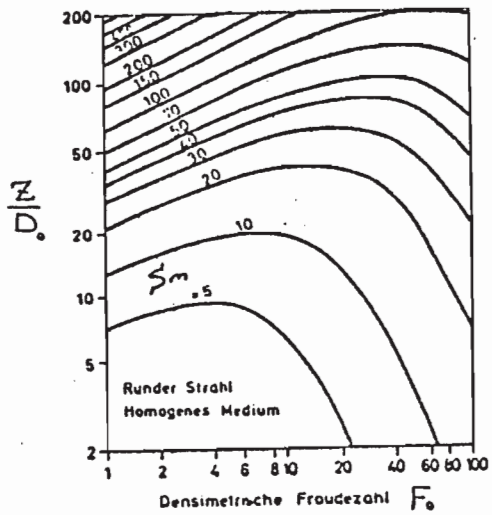


•- الشكل رقم (3) : التحليل الرياضي لنافورة المياه (Jet) بإشعاعات مائية دائرية في وسط غير متجانس (متغير الكثافة مع العمق) .



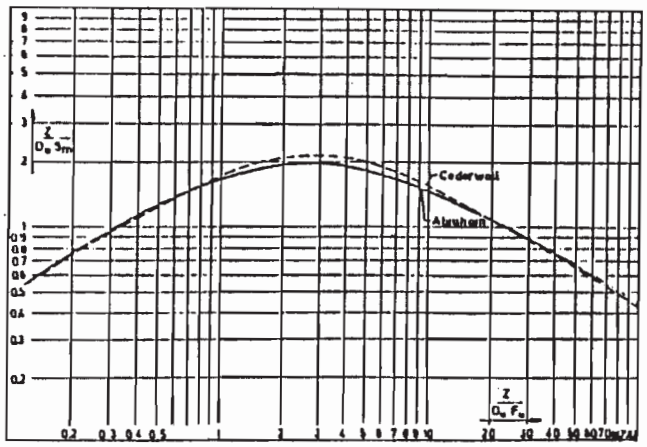
٥- الشكل رقم (4): تصريف مياه المجاري من خلال قناة بنهاية مفتوحة (إتجاه محاور التوزع).

- المصدر 3 -

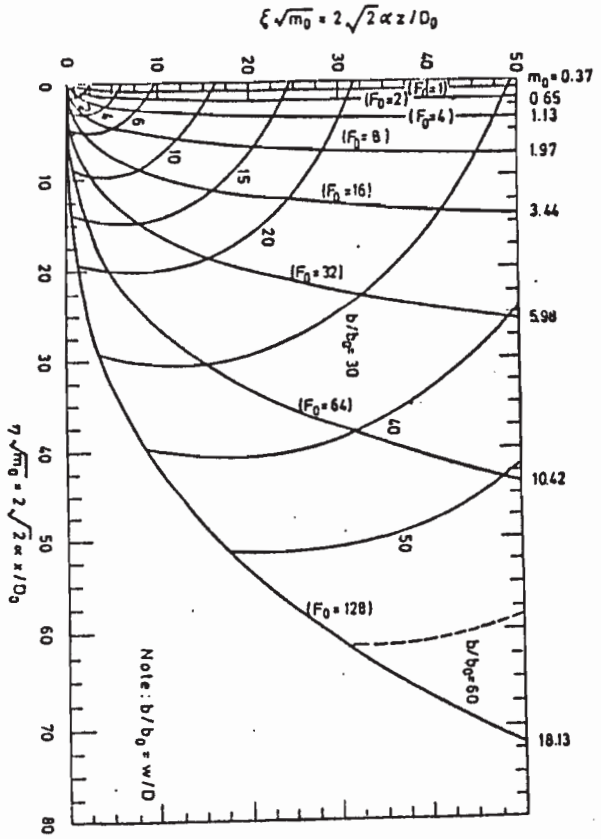


٥- الشكل رقم (5): منحنيات تخفيف التركيز لمياه المجاري على طول محاور التوزيع الإشعاعية للنافورة (Jet) ($S_m = C_o/C_m$) في حالة التصريف الأفقي.

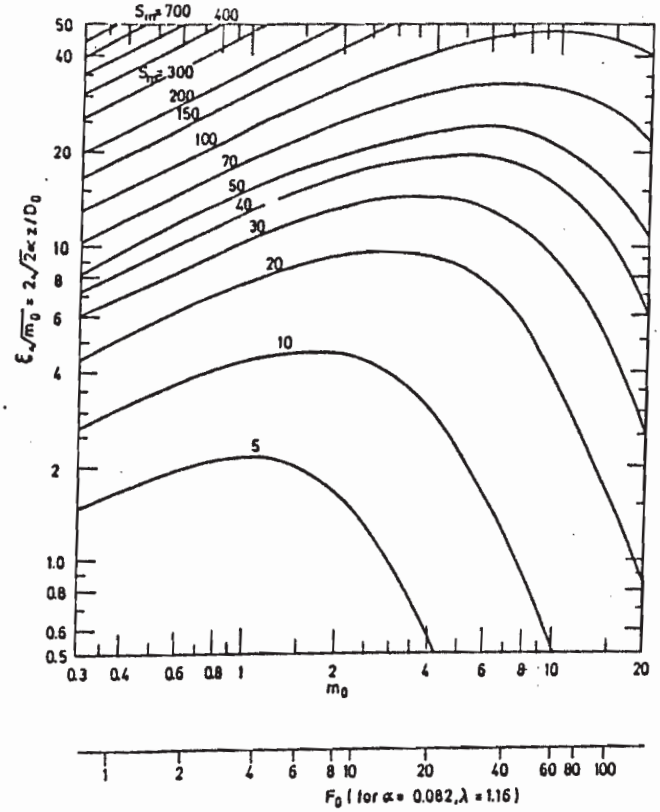
- المصدر 3 -



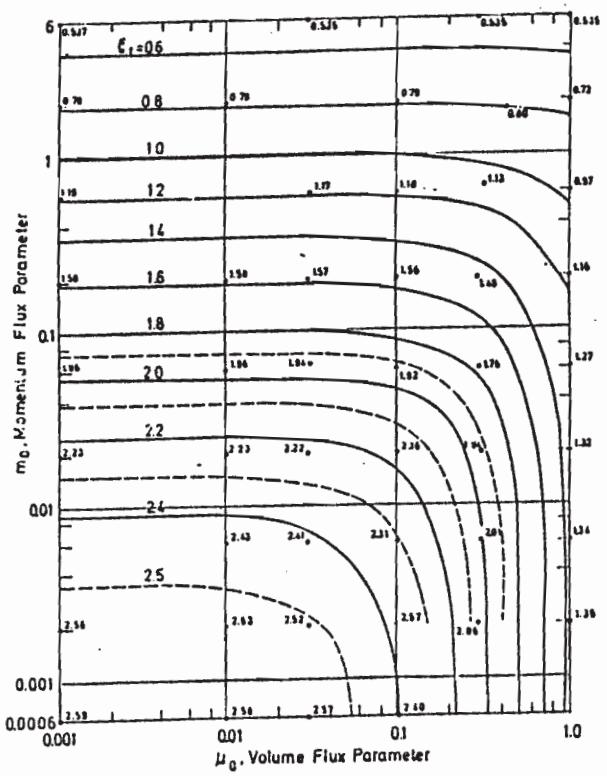
الشكل رقم (6) مقارنة النتائج التحليلية التجريبية للمصدرين (4, 5)
لناغورة مياه مجاري أفقية في وسط مائي مستقر ذي كثافة واحدة.



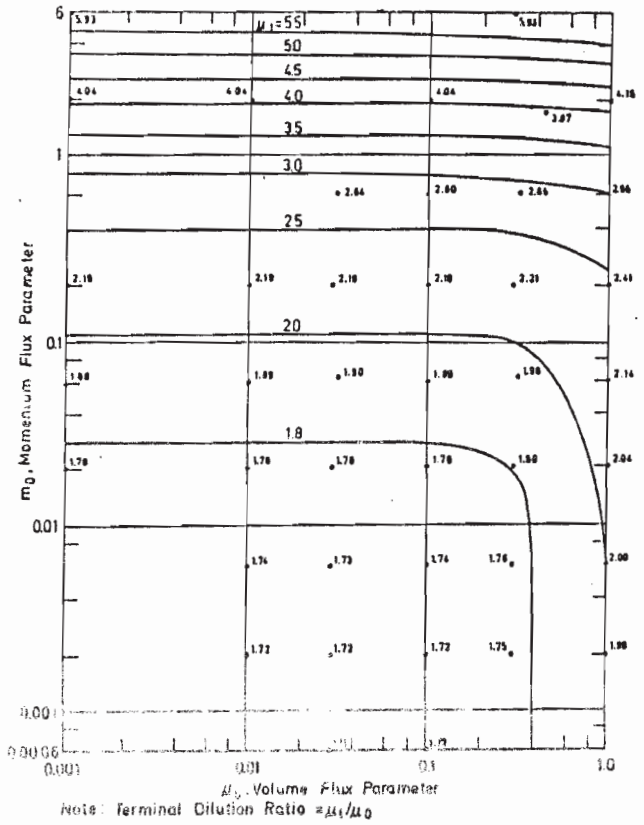
٥- الشكل رقم (7) : تحديد قوس الناغورة المائية الدائرية العائمة
والعرض المضني لها (b/b_0) في وسط مائي
مستقر ومتجانس (بالاستنارة إلى قيمة ($\alpha = 0.082$).



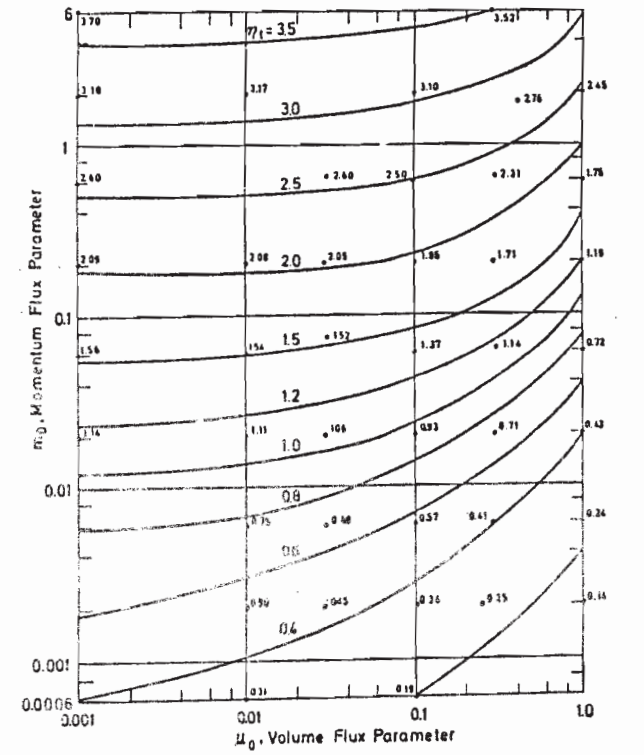
ـ الشكل رقم (8): انحلال مياه الناضوحة المائية الأنفية الدائرية العائمة في وسط مستقر ومتجانس.



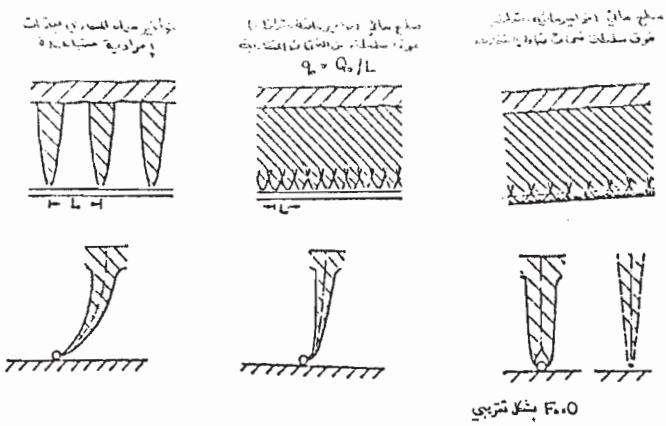
ـ الشكل رقم (9)، ارتفاع الحقل النهائي z_t لمياه ناضوحة مائية أنفية دائرية عائمة في وسط متغير الكثافة خطياً.



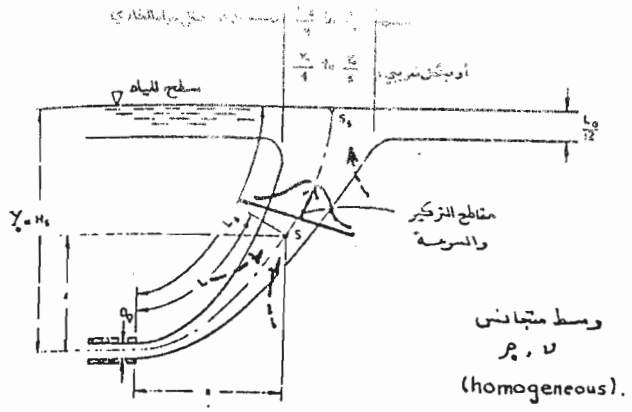
٥ـ الشكل رقم (11) : عامل التدفق الحجمي μ_t للحقل النهائي لمياه ناعورة مائية أفقية دائرية عائمة في وسط متغير الكثافة خطياً.



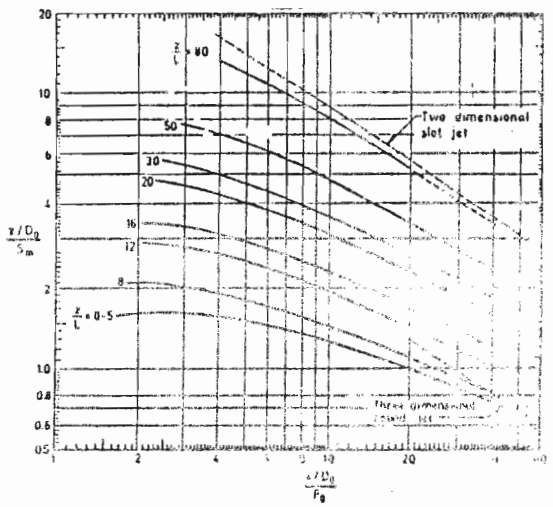
٥ـ الشكل رقم (10) : المحور الأفقي η_t للحقل النهائي لمياه ناعورة مائية أفقية دائرية عائمة في وسط متغير الكثافة خطياً.



F.O.O بشكل تربيعي



• - الشكل رقم (12) : تشريب مياه للجاري بشكل نافورة عائمة (buoyant jet)
في وسط مائي متجانس (المصدر 12) .
(في حالة وسط غير متجانس راجع المصدر (13) .



• - الشكل رقم (14) : الانخفاض الأعظمي للملوثات على طول مركز النافورة
المائية العائمة لجزء رذاذ عديد الفتحات في وسط
مائي مستقر وبكثافة موحدة - (تبعاً للمصدر 6).

ز – ايضاح أثر عمق البيئة البحرية على عمل الجزء الرذاذ وبالتالي على شكل النافورة ،ومن ثم على عملية انحلال الملوثات وتوزعها وانتشارها .

REFERENCE

1 - Morton, B.R., Taylor, G. I . , and Turner ,J.S., "Turbulent Gravitational convection from Maintained and Instantaneous Sources ", Proc. Royal Society of London, A 234, 1956 .

2 - Morton , B.R., "Forced Plumes", Journal of Fluid Mechanics Vol. 5, 1959 .

3 - Kobus, H.,"Anwendung der Dimensions - analyse in der expermintellen Forschung des Bauingenieurwesens " , die Bautechnik , Heft 3 , 1974 .

4 - Cederwall , K., "Hydraulics of Marine Waste Water Disposal " Report N° 42, Hydraulic Division, chalmers Institute of Technology Goteborg ,Sweden, 1968 .

5 - Abraham, G., "jet Diffusion in Stagnant Ambient Fluid ", Delft Hydraulics Laboratory , publ . N° 29, 1963 .

6 - Liseth, P.,Mixing of Merging Buoyant Jets from a Manifold in Stagnant Receiving Water of Uniform Density". Technical Report HFL 23 - 1,Hydraulic Engineering Laboratory,University of California ; Berkeley 1970 .

7 - Hansen, J., and Schroder, H . "Horizontal Jet Dilution studies by Use of Radioactive Isotopes" Acta polytechnica Scandinavica, Ci 49, 1968 .

8 - Fan , L. N., Turbulent Buoyant Jets into Stratified or flowing Ambient Fluids ",W.M.Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources Report N° KH - R - 15 California Institute of Technology, Pasadena , California, 1967 .

9 - Fan, L.N., and Brooks, N.H. , "Nimerical Solutions of Turbulent Buoyant Jet Problems ", W.M.Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources Report N° KH - R-18 , California Institute of Technology Pasadena , California, 1969 .

10 - Rawn , A.M., and Palmer,K.H. , "Pre-determining the Extent of a Sewage Field in Sea Water",Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 94, 1930.

11- Abraham, G., and Broisma,A.A., "Diffusers for Disposal of Sewage in Shallow Tidal Water".Delft Hydraulics laboratory , Publ. N° 37 , 1965 .

12 - Rawn , A.M, Bowerman,F.R. , and Brooks, N.H.,"Diffusers for disposal of Sewage in sea Water" J.Sanitary Eng . Div., proc. ASCE , 86, SA2 , Paper N° 2424, 1960, 65 - 105 .

13- Awad, A.,"Sewage Water disposal by using sea outfalls".,Journal studies and scientific Researche, Tishreen University,Lattakia N°1 Vol., 1988 .

14- Odgaard,J., "Analytical dilution models ",Coastal pollution control Geneva, Vol.1, 1976 .

15- Harleman, D.R.F., Jirka,G., and Stolzenbach,D.K.,"A Study of Submerged Multi - port Diffusers for condenser Water Discharge with Application to the Shoreham Nuclear Power Station," Ralph M.Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics , Report N° 139 , Massachusetts Institute of Tech - nology , 1971 .

DILUTION MODELS OF SEWAGE WATER POLLUTANTS IN THE NEAR FIELD OF SUBMARINE OUTFALL .

This study handles the concentration distribution operatioons analysis of the urban sewage water disposal by sea outfalls . This is achieved through establishing mathematical models relying on hydro - dynamic conditions of water currents eddy mixing with pollutants in the form of a (jet).Consequently, the near field pollutants dilution can be predicted, taking into consideration two conditions of a uniform (stagnant)environment, and the linealrly stratified environment. The study has also treated the case of a pollution jet in its submerged position . It has also shown the different types of multiport diffusers in sea outfalls from the viewpoint of the position of ports and the distance between them. The study specifies the most possible diffusers for realizing maximum dilution of pollutants, and this is done in both cases : the deeply submerged diffusers in a stagnant environment, and the shallow flowing one . Researchers in the field of pollutants dilution in sea environment have persisted on establishing various distribution models prescribed for jet into the sea . From these various models , we have accredited 'Gauss Distribution ' which is most appliable and dependable for concluding theoretical mathematical values for pollutants distribution through velocity forms and factors , concentration and density deficiency . The research depends on the basic concepts of equilibrium codes for volume continuity , momentum conservation , mass conservation and coservation of density deficiency in establishing the analytic mathematical equations of jet models that contributed to submission of the final desing curves for jet in both horizontal and vertical directions and in uniform environments with difference in density. The research has had to pursue jet process starting from the outfall through one port or multi - ports diffusers, ending with the submerged sewage water field , illustrating the effect of outfall form and depth of marine environment on outfall action and jet form , and accordingly on polluted water dillution in marine environment