# A Review Study of Some Oceanographic Characteristics of the Shatt al-Arab Estuary, Southern Iraq

**Professor Sadiq Salim Abdullah**
E-mail: Sadiq.abdullah@uobasrah.edu.iq

**Assistant Lecturer Faez Younis Khalil**
E-mail: Faez.khalil@uobasrah.edu.iq

**Assistant Lecturer Sajjad Kazim Jassib**
E-mail: Sajjad.chasib@uobasrah.eduiq

Marine Science Center – University of Basrah

## Abstract:

The Shatt al-Arab Estuary is a unique environment in southern Iraq, as it is formed at the confluence of the Shatt al-Arab River with the Arabian Gulf. It is subject to both fluvial and marine influences, which result in daily changes in many oceanographic characteristics of its waters, in addition to seasonal variations.

This study presents an analysis of the oceanographic characteristics based on the findings of previous studies conducted in the estuary area. These characteristics include tides, salinity, discharge ratio, flushing time, mixing, circulation, stratification, and estuary classification. Changes in the hydrological conditions of the Shatt al-Arab River, represented by the decline in freshwater discharge to below 50 $m^3/s$, have caused deterioration in the river and estuary environment by increasing the amount of salts entering from the Arabian Gulf, with values exceeding 12 g/L in the center of Basrah.

Furthermore, the decline in freshwater discharge has been reflected in the flow ratio, whose value did not exceed 0.1, giving the Shatt al-Arab Estuary the characteristics of a fully mixed estuary. The tidal phenomenon plays a major role in the hydrodynamics of the estuary as well as in the hydrology of the Shatt al-Arab River. It contributes to the mixing and circulation of water masses, leading to the disappearance of the characteristics of a stratified or partially mixed estuary from the classification and resulting in the formation of a fully mixed estuary.

**Keywords:** Shatt al-Arab Estuary, Arabian Gulf, salinity, tides, mixing, circulation, stratification, water discharge.

# دراسة مراجعية لبعض الخصائص الأقيونوغرافية لمصب شط العرب ، جنوب العراق

**الاستاذ صادق سالم عبدالله** **المدرس المساعد فائز يونس خليل**

جامعة البصرة / مركز علوم البحار

E-mail: Faez.khalil@uobasrah.edu.iq E-mail: Sadiq.abdullah@uobasrah.edu.iq

**المدرس المساعد سجاد كاظم جاسب**

جامعة البصرة / مركز علوم البحار

E-mail: Sajjad.chasib@uobasrah.eduiq

**الملخص:**

يعد مصب شط العرب بيئة فريدة من نوعها في جنوب العراق، كونه يتكون عند التقاء نهر شط العرب بالخليج العربي، وهو يخضع للتأثيرات النهرية والبحرية معا، ينجم عن هذه التأثيرات تغيرات يومية في كثير من الصفات الأقيونوغرافية لمياهه علاوة على التغيرات الموسمية لها. وهذه الدراسة تقدم تحليلا للصفات الأقيونوغرافية استناداً إلى نتائج بعض الدراسات السابقة التي أجريت على منطقة المصب، ومن هذه الصفات ظاهرة المد والجزر والملوحة ونسبة التصريف وزمن التفريغ والمزج والدوران والتطبق وتصنيف المصب. إن التغير في الظروف الهيدرولوجية لنهر شط العرب والمتمثلة بانخفاض التصاريف المائية العذبة إلى دون ٥٠ م$^3$/ثا سبب تدهور بيئة النهر ومصبه وذلك بزيادة كمية الأملاح القادمة من الخليج العربي ، إذ تجاوزت القيم ١٢ غم/لتر عند مركز البصرة. فضلا عن أن انخفاض التصاريف المائية العذبة انعكس على نسبة الجريان التي لم تتجاوز قيمتها عن 0.1 وأعطت صفة المصب الممتزج كليا لمصب شط العرب ، لظاهرة المد والجزر دورا كبيرا في هيدروديناميكية المصب وكذلك على هيدرولوجية نهر شط العرب، فهي تعمل على خلط الكتل المائية ودورانها مما أدى إلى اختفاء صفات المصب الطبقي أو الممتزج جزئيا من التنصيف وتوليد مصب ممتزج كليا.

**الكلمات المفتاحية** : مصب شط العرب ، الخليج العربي ،الملوحة ،المد والجزر ، المزج ، الدوران ، التطبق ، تصريف المياه.

**المقدمة:**

يعرف المصب على أنه جسم مائي ساحلي شبه مغلق متصل بالبحر المفتوح يتكون نتيجة التقاء المياه العذبة القادمة من اليابسة مع المياه البحرية (Pritchard,1969 ; Pritchard and suhubel,1971) .

تتأثر بيئة المصب بالعمليات والأحداث المناخية والجيولوجية والهيدروغرافية والبيولوجية والكيميائية التي مصدرها حوض نهر المصب وكذلك تلك التي تحدث في المحيط بالرغم من أن هاتين البيئتين تبعدان عن المصب بمسافات بعيدة تصل في بعض الأماكن إلى آلاف الكيلومترات من المسافة.

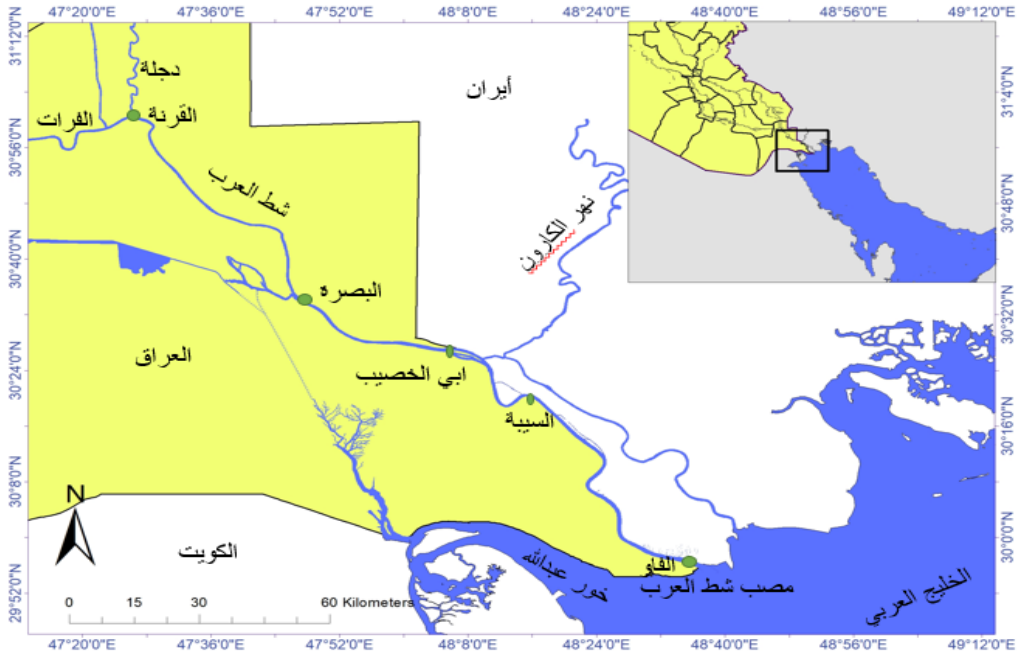
تعد المصبات من المناطق المهمة اجتماعيا وبيئيا واقتصاديا كونها تقع على سواحل الكثير من البلدان على سطح الكرة الأرضية، وهو ما كان مدعاة لأن يقام العديد من المدن المتطورة بجانب هذه المصبات منذ زمن بعيد. ومن ذلك على سبيل التمثيل مدينة أور وهي إحدى الحضارات العراقية التي أنشئت بالقرب من المصب في ذلك التأريخ (Emily and Angelo ,2023)، أما في الوقت الحاضر فالأمثلة كثيرة وتكاد لا تحصى وهي تعد من أكثر المدن ازدهارا مثل مدينة نيويورك التي تقع على مصب نهر هادسن ولندن على مصب نهر التايمز وشنغهاي على دلتا نهر اليانغتسي وهونكونك على مصب نهر بيرل وسدني على مصب نهر جاكسون وغيرها الكثير من المدن في دول العالم. وفي العراق لدينا البصرة تقع على نهر ومصب شط العرب.

إن مصبات الأنهار عبارة عن المحطة النهائية أو محطة الانطلاق للتجارة الوطنية والدولية المتبادلة للكثير من الدول عن طريق النقل البحري، وهذا ما يجعل سكان هذه المناطق من ذوي الخبرة الجيدة بالتجارة وكذلك بالثقافة لاختلاطهم بالعديد من الجنسيات الأجنبية ذات الثقافات المتعددة، إذ تعتبر المصبات من أكثر المسطحات المائية إنتاجية من الناحية البيولوجية وفقا لأساس الكتلة في وحدة مساحة المسطح مقارنة مع أي نوع آخر من المسطحات المائية الطبيعية، المصبات لها القابلية في الحفاظ على نوعية المياه من تأثير الأحياء الدقيقة والملوثات والرواسب لديناميكيتها وزمن التفريغ لها الذي ينظف المصب من الملوثات، إذ تتنوع الأحياء في المصبات وفقا لتغير الملوحة وبالتالي تتواجد من الأحياء المائية في هذه البيئات ،حيث تؤدي المصبات دورا مهما في الحفاظ على التنوع البيولوجي وتوفير موائل للطيور المائية وتنقية المياه (Palanco et al,2021)، وعلى الرغم من ذلك تتعرض المصبات إلى الإجهاد بسبب وصول كميات كبيرة من الملوثات التي تطرح من قبل سكان هذه المناطق ومنها إلى البحار، هذا يسبب تغيراً في نوعية مياه المصبات، كما أن بيئة المصبات في حال تغيير مستمر جيولوجيا مقارنة مع البيئات الأخرى بسبب عمليات التعرية والترسيب، وعلمية الترسيب هي دالة لاستقرار مستوى سطح البحر. إن عدم الاستقرار في بيئة المصبات بسبب العوامل الطبيعية والبشرية يتطلب إدارة حكيمة

للحفاظ على نوعية المياه لضمان استخدامها للأغراض البشرية والزراعية، وكذلك تكون صالحة للتنوع البايولوجي في مياهها. تقدم هذه الدراسة تحليلا لنتائج الدراسات السابقة التي قد تختلف أو تتفق فيما بينها والتي أجريت على مصب شط العرب من الناحية الاقيونوغرافية وتقديم رؤية وفهما شاملا لوضع مصب شط العرب.

**منطقة الدراسة:**

مصب شط العرب هو الجسم المائي الذي يتكون نتيجة لتصريف مياه شط العرب العذبة في شمال غرب الخليج العربي، ويمكن تحديد الجسم المائي لمصب شط العرب بموقعين هما رأس المصب عند جنوب مدينة الفاو وفم المصب داخل مياه الخليج العربي، الخريطة (١) ويتغير هذا الحجم للمصب وفقا للتغيرات الحاصلة في تصاريف المياه العذبة من نهر شط العرب، شط العرب هو النهر الحيوي في العراق المتكون من التقاء نهري دجلة والفرات عند مدينة القرنة ٧٠ كم شمال البصرة، إذ ينحدر النهر بعد هذا الملتقى جنوبا وعند جزيرة أم الرصاص يصب فيه نهر الكارون القادم من الأراضي الإيرانية، وآخر نقطة يصل إليها النهر جنوب مدينة الفاو وبالتالي فهو يمتد لمسافة قدرها ٢٠٤ كم. تؤدي الأنهار الثلاثة دجلة والفرات والكارون دورا مهما في ديناميكية مصب النهر من ناحية كميات تصاريف المياه (في الوقت الحاضر اقتصر مصدر المياه على نهر دجلة والكارون بين الحين والآخر أما نهر الفرات فهو مغلق) والتيارات وحجم المصب ودوران المصب ومزجه، يتصف مصب شط العرب بظاهرة المد والجزر كونه جزءاً من الخليج العربي والخليج يتأثر بهذه الظاهرة القادمة من المحيط الهندي عن طريق مضيق هرمز، ونوع المد في المصب يصنف من النوع المختلط – السائد النصف اليومي ( Abdullah,2002)، إذ يبلغ المدى المدي في منطقة السد الخارجي التي هي جزء من منطقة المصب بحدود 1.72 متر تقريبا، بحيث يكون معدل مستوى سطح الماء في المد العالي ٣ متر ومعدل أدنى مستوى لسطح الماء أثناء الجزر 0.4متر وهذه المستويات للماء تحسب من مستوى أدنى أدنى




**خريطة (١) منطقة الدراسة (عبدالله ولفتة، ٢٠٢٤)**

جزر الذي يطلق عليه مستوى الخريطة Chart Datum في المنطقة. وفقا للظروف الهيدرولوجية الحالية لشط العرب والمتمثلة بالانخفاض الكبير في تصاريف المياه العذبة من الأنهر الثلاثة دجلة والفرات والكارون مقارنة عما كانت علية التصاريف في العقود الأخيرة من القرن الماضي، بحيث يقدر التصريف حاليا ب ٥٠ م$^3$/ثا، وهذا الوضع أدى إلى توغل الأملاح البحرية إلى أعلى النهر ليصل رأس المصب إلى منطقة السيبة ٤٥ كم شمال مدينة الفاو(الطائي وآخرون ،٢٠١٤).

## التحليل والمناقشة:

### الملوحة :

الملوحة هي أحد الخصائص التي تميز الأنهار المدية ومصباتها، وقيم الملوحة تتراوح من مستويات المياه العذبة ( أقل من ١ غم/لتر وهنا في حالة مصب شط العرب تتعمد القيمة 1.5 غم/لتر وفقا للمقياس العراقي) إلى مستويات الملوحة البحرية (عادة ٣٥ غم/لتر وقد تتجاوز هذا الرقم في مصب شط العرب لتصل ٣٨ غم/لتر). تختلف قيم الملوحة من مكان إلى آخر في المصب بشكل كبير خلال دورة مد وجزر واحدة وكذلك تختلف القيم مع عمود الماء أثناء لحظة زمنية واحدة، وهذه الاختلافات مؤثرة في حسابات المصب لمجموعة أسباب، أولاً يمكن استخدام توزيع الملوحة للتنبؤ بتوزيع الملوثات، ثانيًا تعد الملوحة عاملًا رئيسًا لتحديد كثافة المياه وثالثًا تؤثر الاختلافات في قيم الملوحة على معايير جودة المياه

الرئيسة الأخرى، فعلى سبيل المثال ينخفض تركيز الأكسجين المذاب المشبع عادةً بمقدار ٢ملغم/لتر مع زيادة الملوحة من ٠ إلى ٣٥غم /لتر (USGS,2011).

تعد الملوحة من أكثر المشاكل تعقيدا في شط العرب، بحيث يقلق الكثير من المهتمين بالشأن البيئي والاجتماعي في البصرة منها لكون التذبذبات تحدث بمديات واسعة في قيم الملوحة بين الحين والآخر، هذه الحالة تضع إدارة المياه في الحرج بعدم قدرتها على اتخاذ الإجراء اللازم لحل المشكلة. تعتمد الملوحة في قيمها على تصاريف المياه العذبة القادمة من الأنهار الثلاثة دجلة والفرات والكارون، إذ تتجاوز قيمة التصريف ٨٠٠ م$^3$/ثا خلال العقود الأخيرة من القرن الماضي، حيث كانت قيم الملوحة لا تتجاوز 1.5 غم /لتر، ومن ثمَّ بدأت ملامح الانخفاض للتصاريف منذ تلك المدة، سبب ذلك الإجراءات التي اتخذتها دول المنبع لهذه الأنهار بتقليل الإطلاقات المائية إلى داخل العراق من خلال بناء السدود على تلك الأنهار في أراضيها. وهذا ما استنتجه (عبدالله ،١٩٩٠ )، هذا الأجراء أدى إلى تغير هيدرولوجي لشط العرب، إذ تم غلق نهر الفرات وغلق نهر الكارون الذي يفتح في بعض الحالات الاستثنائية. وبالتالي لم يتبقَ إلا نهر دجلة في الوقت الحاضر، وجد (المحمود، ٢٠٢٠) ارتباطا واضحا بين تصريف دجلة والتصريف في شط العرب، إذ لا يتجاوز التصريف الواصل لشط العرب ٥٠ م$^3$/ثا ، وفقا لقيمة هذا التصريف، يبدأ تأثير مياه البحر وتصبح المنطقة الممتدة من الفاو إلى السيبة جزءاً من المصب (الطائي وآخرون ،٢٠١٤ ) ، وعندما ينخفض التصريف إلى دون هذا الرقم ستصل الأملاح البحرية عن طريق الانتشار الجزيئي إلى مركز مدينة البصرة التي تبعد بحدود ١٢٠ كم عن الخليج العربي بعد ثلاثة إلى أربعة أشهر تقريبا (الطائي وآخرون ،٢٠١٤ ) ، وقد أوضح (Abdulllah et al. ,2016) أن المسافة التي تصلها الملوحة البحرية ٨٠ كم أعلى النهر، وبيّن (Al-Aasdi et al. ,2022 ) أن المسافة الأفقية لتوغل مياه البحر إلى أعلى شط العرب هي ما بين ٨٣.٧ و ١١٢.٤ كم تقريبًا ، إذ تصل قيم الملوحة إلى ١٢ غم/لتر في مركز البصرة عندما يكون التصريف ١٠ م $^3$/ثا ، وتبلغ قيمة الملوحة ٢-٢.٢ غم /لتر في البصرة و٦-٧ غم /لتر في السيبة بتوفر تصريف قدره ٥٠ م $^3$/ثا ، يختلف توزيع الملوحة في مصبات الأنهار والأنهار المدية ليس فقط بسبب تصريف المياه العذبة وآليات المد والجزر ولكن أيضًا بسبب التأثيرات الطبوغرافية(Yoon and Woo,2013) ، ويعود النهر إلى حالة صحية جيدة في وجود تصريف ١٠٠ م $^3$/ثا لتسجل الملوحة ٤ غم /لتر في الفاو(الطائي وآخرون،٢٠١٩) ، وفضلا عن ذلك يسهم نهر الكارون عندما تصرف مياهه في شط العرب بشكل إيجابي في تقليل الملوحة في أعلى وأسفل المكان الذي يصب مياهه فيه (عبدالله ،١٩٩٠) ،(Al Mahmood and Mahmood ,2019) (Lafta ,2022a) ، ومن الطبيعي أن تتدهور نوعية مياه النهر وتعمل قيم الملوحة المرتفعة بتعطيل النظام البيئي المائي، ويلحق الضرر بمجموعات الأسماك المحلية التجارية ويتواجد بدلها أسماك غريبة تتحمل هذه المديات العالية من

الملوحة والتقليل من التنوع البيولوجي، والتأثير على الصحة العامة للبيئة النهرية، إذ لم تعد نوعية المياه صالحة للكثير من الاستخدامات ومنها الاستخدام البشري ، حتى الزراعة لأن مياه شط العرب عادت غير صالحة للري مما يفضي إلى تدهور إنتاجية المحاصيل وانخفاض الإنتاج الزراعي ( Al-Asadi et al.,2019).

إن معالجة ارتفاع الملوحة في نهر شط العرب تتطلب عملا متعدد الجوانب يشمل التعاون الدولي وفعاليات إدارة المياه المستدامة والابتكار التكنولوجي. ومن خلال اتخاذ إجراءات مناسبة فمن الممكن التكيف والتخفيف من الآثار الضارة للملوحة وحماية مستقبل هذا النهر المائي المهم لحياة أهل البصرة. إن الدراسات التي تم الاعتماد على نتائجها في هذا التحليل هي دراسات موثوق بها ولكن بعضها يختلف عن بعض وذلك بكمية البيانات المستخدمة، بشكل عام اتفقت هذه الدراسات على أن ملوحة مياه النهر هي ملوحة مرتفعة سببها توغل الأملاح البحرية مما جعله جزءاً من مصب شط العرب. بدأت فكرة المعالجة من مقترح الشركة البولونية بولسيرفس ( GESD and Polservice,1981) والمتمثل بعمل قناة ناقلة للمياه العذبة من منطقة كتيبان شمال البصرة ومرورا بأراضي الجهة الشرقية من نهر شط العرب ومن ثم تدفع المياه بأنابيب على شكل سايفون يعبر مجرى شط العرب جنوب مدينة أبي الخصيب لإيصال المياه العذبة إلى مناطق جنوب أبي الخصيب والسيبة والفاو التي تعد من أكثر المناطق تأثرا بارتفاع الملوحة ، أنجر هذا المشروع من قبل وزارة الموارد المائية ٢٠١٨، وهذا المشروع يعد ناجحا عندما يكون التصريف ١٠٠ م ³/ ثا كما أوضحت الشركة السابقة، ومن الاهتمامات الأخرى للتخفيف من الملوحة قدم مركز علوم البحار (٢٠٢١)دراسة علمية لمعالجة المشكلة، اقترحت الدراسة بناء سدة لتنظيم حركة المياه والمحافظة على نوعية مياه جيدة أعلى السدة، اقترح (Mahmood et al.,2022) بناء تركيب كونكريتي في مجرى النهر للتخفيف من آثار توغل الملوحة البحرية، قدمت مجموعة شركات استشارية إيطالية لوزارة الموارد المائية تقريراً حول الوضع البيئي لشط العرب واختيار الأماكن الملائمة لبناء السد ) (CSED,2012، وقد أوصى (Khayyun,2018) بتخصيص تدفق بيئي (حد أدنى من التصريف يبلغ ١٤٥ م³/ثا ) وعمل العديد من الأعمال الهندسية على الأجزاء السفلية من نهري الفرات ودجلة لضمان توصيل التدفق المقترح، في حين حدد (الأسدي وآخرون ،٢٠١٥ ) بأن يكون التصريف ٢٠٠ م³/ثا وذلك للمحافظة على البيئة الشاملة لشط العرب ومصبه، كما أن للتدخل البشري في حل المشكلة من نتائج إيجابية فأن هناك آثاراً جانبية على البيئة، إذ قام كل من (Abdullah et al.,2023 )( Lafta and Abdullah,2024) بتقديم دراسة حول تأثير السد المقترح على مناسيب المد وطبيعة موجة المد والجزر أسفل السد.

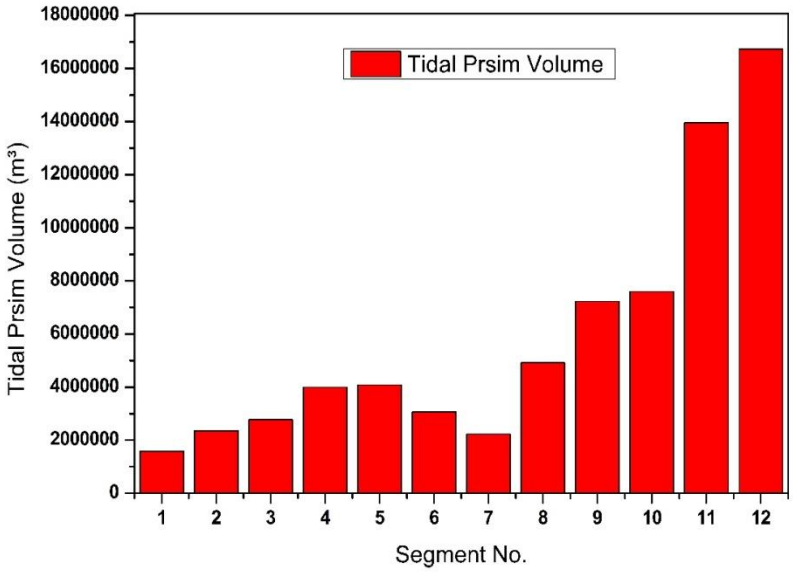
من خلال ما تقدم ، أدى بناء السدود في أعالي النهر إلى خفض تصريف المياه العذبة من ٨٠٠ متر م ³/ثا إلى أقل من ٥٠ م ³/ثا ، مما سمح لمياه البحر بالتغلغل لمسافة تزيد عن ١٠٠ كيلومتر داخل اليابسة، مُلحقًا دمارًا بالنظام البيئي المحلي وبالزراعة، وبالتالي يتطلب الحفاظ على الحد الادنى من معدل تصريف يتراوح بين ١٠٠ و٢٠٠ م ³/ثا وهو المستوى الضروري المطلوب للحد من الملوحة، التي تصل حاليًا إلى مستويات حرجة تتجاوز ١٠ غم/لتر في المناطق المتضررة، فضلا عن أن الحلول تتطلب مزيجًا من الجهود الدولية في مجال المياه والهندسة، بدءًا من قناة كتيبان للمياه العذبة وصولًا إلى السدود التنظيمية المقترحة للإدارة والسيطرة على تغلغل المياه المالحة بفعل المد والجزر.

## نسبة الجريان ( Flow Ratio )

نسبة الجريان هي العامل الأساسي لقياس التوازن بين تصريف المياه العذبة وتوغل المياه المالحة في المصب. وتعد هذه النسبة أمرا بالغ الأهمية لصحة ووظيفة المصب. إذ إن الحفاظ على نسبة جريان جيدة يوفر العديد من الفوائد ومنها البيئية حيث تحافظ على الموائل من خلال التوازن بين الملوحة ودرجة الحرارة، وتدعم دورة المغذيات من أجل شبكة غذائية صحية، وتنظم نقل الرواسب جودة المياه وتخفف من الملوثات وتساعد في منع تراكم المغذيات المفرط (التغذية الزائدة).

تم اعتماد المسافة لمجرى شط العرب من الفاو إلى المعقل التي تقدر بـ ١٢٠ كم كمصب لشط العرب لتشمل هذه المسافة كل الحسابات التي تم تقديرها من قبل الباحثين ( GESD and Polservice,1981 )(الطائي وآخرون ،٢٠١٤ ) (الأسدي وآخرون ،٢٠١٥ ) (Abdulllah et al. ,2016) ( Al-Aasdi et al. ,2022) ، وذلك لحساب نسبة الجريان في المصب .

تم حساب حجم موشور المد والجزر وهو عبارة عن حجم كتلة الماء الداخلة للمصب أثناء حالة المد وخروجها إلى نهاية حالة الجزر، ووفقا لتأثير ظاهرة المد والجزر بشكل مختلف على طول المصب ، تم تقسيم المصب إلى عدة قطع بحيث كان عددها ١٢ قطعة كما في الشكل (١) .تبدأ القطع بالرقم ١ وموقعها في منطقة المعقل وتنتهي بالرقم ١٢ عند مدينة الفاو، تم حساب طول القطعة على وصول جسيم الماء إليها في حالة المد بتأثير ظاهرة المد والجزر ، أما حساب حجم موشور المد في كل قطعة فاعتمد على معدلات مناسيب المد العالي والجزر الواطئ من بيانات الأدميرالية البريطانية في جداول المد والجزر لعدة محطات منتشرة في شط العرب، والذي يمثل الارتفاع وطول القطعة فيحسب كما ذكر أعلاه، أما عرض القطعة فتم من خلال المسوحات الطوبوغرافية والباثيمترية لشط العرب من قبل مركز علوم البحار عام ١٩٩٨ و٢٠٠٥ ، الشكل (١) يظهر حجوم موشور المد للقطع المكونة للمصب.




**الشكل (١) حجوم موشور المد (Tidal Prism Volume) للقطع ( Segment) المكونة لمجرى النهر (عمل الباحث)**

تم حساب قيمة نسبة الجريان (F ) وفقا لمعادلة ( Schultz and Simmons ,1957 ) F=R/P حيث Rهو تصريف النهر لدورة مد وجزر واحدة ويقاس ب م$^3$ ، وP هو حجم موشور المد والجزر للمصب لدورة مد جزر واحدة ويقاس ب م$^3$. أن نسبة التدفق هي مقارنة بين التصريف الناجم عن المد والجزر في مصب النهر والتصريف القادم من النهر. حدد شولتز وسيمونز عندما تكون قيمة هذه النسبة في حدود ١.٠ أو أكبر، فالمصب يكون من المصبات ذات الطباقية العالية. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون النسبة حوالي ٠.١ أو أقل يكون المصب من المصبات المختلطة جيدًا واذا كانت النسبة في نطاق ٠.٢٥ فالمصب يكون من المصبات المختلطة جزئيًا. وعندما تكون نسبة الجريان ٠.٢ أو أقل يكون المصب من المصبات أحادية البعد. وعندما تتراوح نسبة الجريان٠.٢ إلى ٠.٣ فتعتبر هامشية. ولا ينبغي إدراج المصبات ذات نسبة الجريان الأكبر من ٠.٣ في فئة أحادية البعد.

وفقا لاستنتاج الدراسات المشار إليها سابقا التي بينت قيم الملوحة والمسافة التي تصل إليها الملوحة باتجاه أعلى النهر، تم تقسيم شط العرب إلى ثلاث حالات عند اعتباره مصبا، الحالة الأولى يكون المصب من المعقل إلى الفاو والحالة الثانية يكون المصب من السيبة إلى الفاو والحالة الثالثة يكون المصب من الفاو إلى داخل الخليج العربي . كانت نسبة الجريان لتصاريف المياه العذبة قدرها

٧٥،٥٠،٢٠ م³/ثا هي 0.012 و 0.047 و 0.071 على التوالي، وجميع قيم هذه النسب تشير إلى أن المصب هو من النوع المختلط جيدا ( Well Mixed) ، بغض النظر عما إذا كان تصريف المياه العذبة مرتفعًا (٧٥ م³/ثانية)، أو متوسطًا (٥٠ م³/ثانية)، أو منخفضًا (٢٠ م³/ثانية)، فإن القيم المقابلة لنسبة الجريان تشير باستمرار إلى أن المصب مختلط جيدًا. وهذا يعني أن المياه العذبة والمياه المالحة متداخلتان تمامًا، بدلاً من تكوين طبقات منفصلة، ومن الطبيعي أن يكون المصب من نوع المتطبق عندما تتوفر تصاريف عالية كما هو حال النهر في العقود الأخيرة من القرن الماضي الذي تتجاوز التصاريف فيه ٨٠٠ م³/ثا ( Al-Mahdi,2001 ).

إن انخفاض نسب الجريان المحسوبة (تتراوح قيمها ٠.٠١٢ – ٠.٠٧١) التي لا تصل عتبة ٠.١، يُشير إلى أن المياه العذبة والمالحة قد امتزجت تمامًا، مما يجعل فصل الأملاح عن مصدر المياه أمرًا بالغ الصعوبة وبالتالي يمكن القول إن هناك هشاشة في النظام البيئي في شط العرب ومصبه.

## زمن التفريغ ( Flushing Time )

يعرف زمن التفريغ بأنه الوقت المطلوب لاستبدال كمية المياه الموجودة في مسطح مائي كالخلجان أو المصبات بمياه جديدة (Bowden, 1967 ) . بيد أن هذه المسطحات تمتلك القابلية على تجديد مياهها في فترة وأخرى نتيجة لحركة الكتل المائية فيها ودورانها ونتيجة لذلك يمكن التخلص من الملوثات المتكونة والداخلة إلى المسطح المائي .وقبل التطرق لخاصية زمن التفريغ لمصب شط العرب لابد من التحدث عن ذلك فيما يخص الخليج العربي بسبب الترابط بين المسطحين المائيين، إذ يعد الخليج العربي من المسطحات المائية التي تجدد مياهها بين فترة وأخرى بسبب نظام الدوران فيه، إذ تدخل المياه القادمة من خليج عمان عن طريق مضيق هرمز كطبقة سطحية إلى الخليج وتخرج المياه كطبقة قاعية من الخليج إلى خليج عمان عن طريق مضيق هرمز. استخدمت الدراسات التالية النموذجة الرياضية في حساب زمن التفريغ، إذ قدر (Koske, 1972) زمن التفريغ ب ٣سنوات و(Hughes and Hunter.197) ب 5.5 سنة في حين زمن التفريغ يترواح بين ١–٥ سنة اعتمادا على الزمان والمكان في دراسة (Reynold,1993)، كما استنتج (Sadrinasab and Jochen,2004) أن زمن التفريغ في الجانب الإيراني ٣ سنوات وفي الجانب العربي ٥ سنوات بسبب اختلاف الأعماق بين الجانبين وبالتالي سرعة وحركة الكتل المائية. تعد الدراسات الخاصة بزمن التفريغ لمياه شط العرب ومصبه من الدراسات الحديثة، فقد استخدم (Albadran et al. ,2001 ) طريقة الحجم والتصريف وهي من أبسط الطرق في هذا المجال وكان زمن التفريغ لشط العرب لايتجاوز أربعة أيام فقط وذلك لاتساع حجم تصريف المياه في تسعينيات القرن الماضي ، وقد أصبح موضوع حساب زمن التفريغ لشط العرب ومصبه من الموضوعات

المهمة جدا في الوقت الحاضر بسبب تعرض المسطح المائي لتوغل الأملاح البحرية وبقائها لمدة طويلة من الوقت مما تسبب في مشكلة اقتصادية واجتماعية معا، استخدم(Abdullah et al.,2016) طريقة جزء الماء العذب في حساب زمن التفريغ لشط العرب من المعقل إلى جنوب الفاو فكان الزمن المطلوب هو 2.3 شهر ، اعتمد (Alosairi and Pokavanich ,2017) على النمذجة الرياضية في الحساب وكان الزمن الطلوب لتفريغ شط العرب هو ٦٠ يوما ، الدراسة الأحدث في هذا المجال قام بها (عبدالله ولفتة ،٢٠٢٥ ) باستخدام طريقة موشور المد والجزر وكان الزمن المطلوب هو 1.7 شهر ، تبين أن للظروف المتعلقة بانخفاض تصاريف المياه العذبة دورا وبالتالي على زمن التفريغ مما جعل الأمر تحت تأثير قوة المد والجزر ويمكن اعتماد مدة شهرين وفقا للدراسات المشار إليها ليكون هو زمن التفريغ لشط العرب.

يمكن الجزم أن ارتفاع مدة زمن التفريغ في شط العرب من أربعة أيام فقط في تسعينيات القرن الماضي إلى شهرين تقريبًا في الوقت الحاضر، يعود أساسًا إلى الانخفاض الحاد في تصريف المياه العذبة، إن التحول من زمن تفريغ مدته ٤ أيام إلى زمن مدته تقريبا ٦٠ يومًا يسبب بقاء الملوحة والملوثات في شط العرب لأشهر، بحيث لم يعد النهر يمتلك الطاقة الهيدروليكية الكافية لتصريف المياه إلى البحر. إذ إن الأثر البيئي يكون سلبيا حيث تسمح مدة البقاء الطويلة هذه للملوثات وأملاح البحر بالاستقرار داخل المجرى المائي، مما يحوّل طبيعة النهر من نظام تنظيف ذاتي إلى مصب راكد تسوده الملوحة. يتطلب عمل نموذج رياضي في حساب زمن التفريغ في الدراسات المستقبلية يعطي نتيجة أكثر دقة .

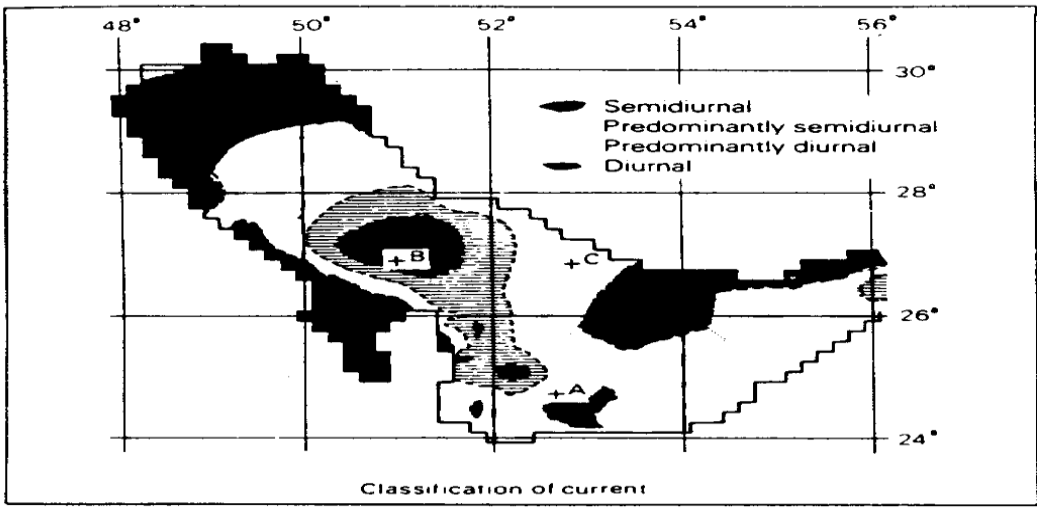
## المد والجزر (Tide)

يعتبر شط العرب المجرى المائي ومصبه من المناطق الساحلية لارتباطهما مباشرة بالبحر والمتمثل هنا بالخليج العربي ، بحيث يضفي هذا الارتباط خاصية للنهر والمصب وهي تميزهما بظاهرة المد والجزر، وهي ظاهرة واضحة للعيان من جنوب النهر إلى شماله أي من الفاو حتى القرنة ، وقد تأقلم الإنسان البصري منذ تواجده وعيشه بجانب هذا النهر مع ظاهرة المد والجزر ، كونها ظاهرة غير مخيفة مقارنة مع ظواهر طبيعية أخرى، وقد استطاع سكان المناطق الواقعة على ضفتي شط العرب تسخير هذه الظاهرة في استخداماتهم اليومية ومنها الزراعية والملاحية وصيد الأسماك، ووفقا لهذه الميزة أصبحت البصرة من المدن التجارية المعروفة عالميا منذ زمن بعيد.

بدأ الاهتمام والدراسة بظاهرة المد والجزر في المياه العراقية البحرية والممرات المائية الداخلية في البصرة مثل شط العرب وخور عبدالله وخور الزبير من قبل البحرية البريطانية في بداية القرن عندما احتلت

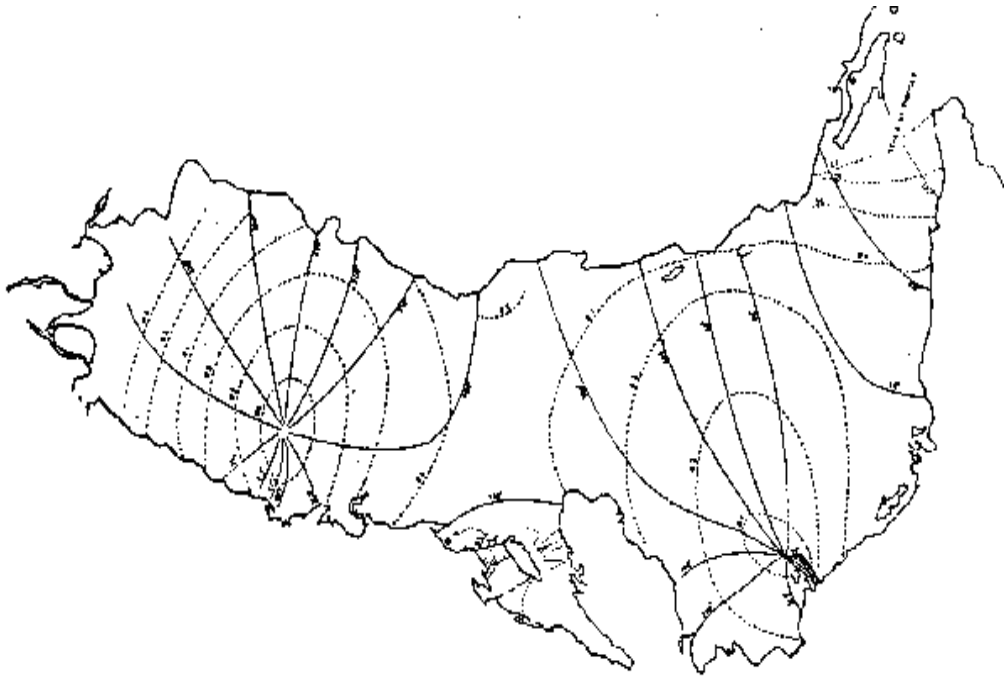
بريطانيا العراق في ذلك الوقت، جاء هذا الاهتمام لحاجة القوات البحرية لحركة سفنها والوصول إلى الموانئ البرية في البصرة والتي كان أولها ميناء أم قصر ، بعد التطور في الموانئ وبالتحديد ميناء المعقل زاد الاهتمام في مراقبة ظاهرة المد والجزر، إذ تم تحديد موقع السد الخارجي ليكون ميناءا رئيسا ( Standard Port) والفاو وأم قصر وعبادان والمعقل موانئ ثانوية (Secondary Port) (تسمية ميناء هذه خاصة في مصطلحات المد والجزر)، وقد دخلت هذه المواقع في ضمن جداول المد والجزر التي تصدرها الأدميرالية البريطانية سنويا كباقي موانئ العالم .

إن التحدث عن ظاهرة المد والجزر في شط العرب ومصبه يتطلب بيان وضع هذه الظاهرة في الخليج العربي، إذ تصل ظاهرة المد والجزر إلى الخليج العربي قادمة من المحيط الهندي عن طريق مضيق هرمز. وهناك ثلاثة أنواع من المد والجزر وهي النصف اليومي( Semidiurnal) واليومي ( Diurnal) والمختلط ( Mixed ) وهذا الأخير يقسم بدوره إلى نوعين وهما المختلط –السائد نصف اليومي Mixed (semidiurnal dominate) والثاني مختلط – السائد اليومي (Mixed Diurnal dominate )، تعتمد هذه التقسيمات على قيمة نسبة عدد الشكل F وهي النسبة بين قيمة سعة المقومات المدية اليومية الرئيسية K1 و O1 إلى قيمة سعة المقومات المدية النصف اليومية الرئيسة M2 وS2 ،علما أن عدد المقومات المدية يتجاوز ٣٩٠ مقومة مدية في بحار العالم ،وجميع هذه الأنواع متواجدة في الخليج العربي كما يوضح الشكل (٢)(Evans–Roberts ,1979). هناك عوامل أخرى تؤثر في ارتفاع سطح المياه في الخليج وهي غير الفلكية المسببة للمد والجزر وهي جهد الرياح وكثافة المياه والضغط الجوي ، قدر مساهمتها (Al–Subhi .2010 ) بـ ١٠ % وال٩٠% هي من التأثير الفلكي وكان أكثر تلك العوامل تأثيرا هو الضغط الجوي.




**الشكل (٢) تصنيف أنواع المد والجزر في الخليج العربي (Evans–Roberts, 197)**

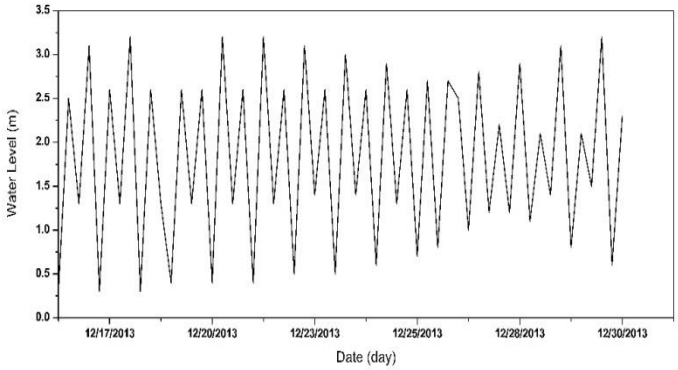
وجد ( Abdullah,2002) أن نوع المد والجزر في المياه العراقية من النوع المختلط السائد النصف اليومي، وأن المقومة القمرية النصف اليومية M2 أكبر المقومات قيمة في شط العرب ومصبه، أكدا (Fawaz and Sameer ,2022 ) أن سعة المقومات المدية M2 وS2 وK1 وO1 هي أكبر المقومات بين المكونات الأخرى في الخليج العربي، إذ تمثل سعة S2 ما يقرب من ٣٠% من M2، الشكل (٣) (Evan–Roberts,1979) توزيع المقومة M2 في الخليج العربي. بحسب ( Chandy 1992, ) مقومات التيارات المدية عن طريق تحليل قيم سرع التيارات في الجزء الغربي من الخليج العربي فوجد أن التيارات المدية هي من النوع المختلط –السائد النصف اليومي في الجزء الشمالي من الخليج العربي وتغطي التيارات أربعة مقومات هي M2 وS2 وK1 وO1 ، استخدما ( Aliraz and Mohammad,2010) بيانات رصد سطح البحر بالأقمار الاصطناعية وبيانات التسجيل الحلقي لمستوى المياه لمدة ١١ عاما من أجل نمذجة ظاهرة المد والجزر في الخليج العربي وفقا للمقومات المدية الرئيسة الأربعة M2 وS2 وK1 وO1



**الشكل (٣) المقومة المدية M2 حسب محاكاة (Evans–Roberts ,1979)**

استخدما (Al-Fartusi and Abdullah,2023) نموذجا رياضيا لحساب المقومات المدية في مصب شط العرب، وكشفت نتائج النموذج أن قيم سعات المكونات الرئيسة المهيمنة K1 وO1 وM2 وS2، هي ٠.٣٣٧٤ و٠.٢١٥٤ و٠.٤٧٦٣ و٠.١٤٣٤ مترعلى التوالي.

تخضع موجة المد المتولدة في المحيط لعدة تغييرات عند وصولها إلى المناطق الساحلية، والتي تكون عمومًا مناطق مياه ضحلة، مما يؤدي إلى عدم تناسق موجة المد (Parker ,2007 ) ، إذ تتعرض موجة إلى حالة يطلق عليها عدم التماثل المدي اليومي ( Daily Tidal Asymmetry) أي وجود عدم تساوي فترة المد مع فترة الجزر خلال اليوم الواحد ، كذلك اختلاف بسرعة التيار في فترة المد عن سرعة التيار في فترة الجزر كما في الشكل (٤) وهذا ما وجده ( Al-Mahdi and Abdullah,1996) ، تنطبق ظاهرة عدم التماثل اليومي مع موجة المد في مصب شط العرب كون المصب غير متساوٍ في الأعماق ووجود المسطحات الطينية في مدخل شط العرب مع وجود مسطحات مائية في الأعلى المتمثلة بأهوار البصرة ، كما استنتج (Lafta ,2022 b ) من خلال تطبيق نموذج رياضي وباستخدام العلاقات بين موقمتين مديتين أو أكثر، من جانب آخر هناك ظاهرة أخرى يطلق عليها اللا تساوي المدي اليومي (Diurnal Inequality Tide ) ،هذا ما وجده (عباله ،٢٠١٤ ) وهو اختلاف في قيم منسوب المدين وكذلك في قيم منسوب الجزرين في اليوم الواحد ،جاء من تحليل قيم مناسيب لموجة المد والجزر في مصب شط العرب لمدة ستة أشهر من سنة (٢٠١٢)، وسببه هو تأثير فلكي (انحراف زاوية القمر والشمس عن خط الاستواء)على المنطقة ويشمل المد من النوع النصف اليومي أو المد المختلط السائد النصف اليومي وهذا ما يتميز به شط العرب، وقد تختلف الأسباب في ذلك في مناطق أخرى من العالم، إذ حصل ( Guo and Wang,2019) على وجود عدم تناظر مد وجزر أقوى خلال الطور الفيضي مقارنةً بالطور المحاقي، والتأثيرات غير الخطية لتصريفا النهر على عدم تناظر المد والجزر.




**الشكل (٤) تغيرات مناسيب المد والجزر ( Water Level ) متر في الفاو لمدة ١٥ يوما (المصدر بيانات المد والجزر للأدميرالية البريطانية )**

تختلف مناسيب المد بين مكان وآخر في مصب شط العرب وفقا لطاقة المد وبعد المكان عن مصدر هذه الطاقة وهو ميناء المد الرئيسي (Tidal primary port) المتمثل بموقع السد الخارجي، في منطقة السد الخارجي يصل مستوى المياه دون الصفر متر في أدنى جزر في بعض الأوقات ،على عكس ذلك تسجل قيمته أكثر من ٣ متر لمستوى المياه في أعلى مد وهذه المستويات محسوبة من مستوى الخريطة (Chart Datum ).

يخضع شط العرب ومصبه لمد وجزر مختلط نصف يومي، متأثر بشكل أساسي بالمقومة القمرية النصف اليومية M2 ، ولهذه الظاهرة دور في تحديد الخصائص الهيدرولوجية الفريدة للمنطقة من الفاو إلى القرنة، إذ تسهم العوامل البيئية، مثل الضغط الجوي وقوة الرياح، بنسبة ١٠% المتبقية، مما يؤثر في الملاحة والبيئة المحلية، فضحالة المياه ووجود المسطحات الطينية تؤدي دورا في تميز المد والجزر بعدم تناظر يومي، مما يُسبب اختلافات بين فترة المد وفترة الجزر، وكذلك يُحدث اختلافات في سرعات التيارات، كما تتميز ظاهرة المد والجزر بالاتساوي اليومي التي تسبب اختلافات في قيم المناسيب المدية في اليوم الواحد.

## المزج والدوران والتطبق ( Mixing , Circulation and Stratification )

المصب بيئة ديناميكية ، يحدث فيه مزج ( Mixing) المياه العذبة وهي مياه نهرية مع المياه المالحة وهي مياه بحرية، هذا المزج جنبا إلى جنب مع الدوران (Circulation) للمياه يعطي خصائص ينفرد بها المصب عن بقية البيئات المائية الأخرى . القوة الدافعة الأساسية وراء دوران المصب هي فرق كثافة المياه المالحة والمياه العذبة، وهذا ما يؤدي إلى غطس المياه المالحة إلى الأسفل بسبب زيادة كثافتها وتطفو المياه العذبة الأقل كثافة، ينتج عن هذا عملية حدوث طبقتين من المياه ويدعى هذا بالتطبق ( Stratification)، والفرق في الكثافة يولد الدوران الجذبي ( Gravitational Circulation) بحيث تندفع المياه العذبة نحو البحر وتتوغل المياه المالحة إلى أعلى النهر (Pickard & Dyer,1997);( Emery,1990). إذ تؤثر التدخلات البشرية كحفر المصبات وتعميقها في أنماط الدوران والمزج والتطبق(Ralston and Geyer,2019 ).

بيد أن الدراسات المتعلقة بهذه الخصائص لمصب شط العرب قليلة جدا ، وكان أدقها تفصيلا هي ل ( Al-Mahdi ,2001)، الذي درس هذه الخصائص في حالتين من التصريف للمياه العذبة وهما ٥٨٠ م$^3$/ثا و١٨٦٣ م$^3$/ثا وهاتان تمثلان تصريفين أحدهما منخفض وآخر كبير في حينها ، ينتج عن هذه الحالة تيارات مد وجزر عالية في هذا المصب؛ تتجاوز قيمها ١م/ثا (Al-Mahdi and Abdullah ,1999)، وقد قسم الباحث المصب إلى ثلاث محطات هي الفاو التي تعد رأس المصب ( Head of Estuary )

والسد الخارجي وتمثل فم المصب ( (Mouth of Estuary ومحطة ثالثة بينهما هي محطة السد الداخلي، تختلف درجة التقسيم الطبقي والمزج على امتداد المصب وفقا لتصريف المياه العذبة، ففي محطة الفاو الواقعة على أقرب نقطة من مصدر المياه العذبة مقارنة مع المحطتين الأخريين، بحيث يميل عمود الماء إلى الخلط الجيد ( Well– mixed) في أثناء فترات التصريف العالي، تمنح السرع العالية للتيار أثناء التصريف العالي بإنشاء طبقات مستقرة ( Lenord,1977)، لكن في أثناء التصريف المنخفض تسمح سرع التيار بتطور الطبقية في محطة الفاو، كذلك يسمح الاضطراب بظهور التطبق (Lenord ,1977) وهذا ما يحدث في محطة السد الداخلي ويكون عمود الماء ممتزجا أكثر في أثناء التصريف العالي، بسبب التصريف المنخفض وهيمنة المد والجزر ليكون عمود الماء على شكل طبقات متجاورة بين الممتزجة جزئيا والممتزجة كليا في محطة السد الخارجي، كما أن لقيم انحدار الملوحة المختلفة في المحطات تأثيرا يجعل التطبق في محطة السد الداخلي أعلى كما في محطة الفاو، وقد وجد ( Al–Mahdi and Abdullah,1996) أن عمود الماء متجانس في الملوحة ويوجد تأثير لطور المد المحاقي في خلق تطبق في السد الداخلي ويتلاشى التطبق في محطة السد الخارجي.

تعتمد أنماط الدوران على تصريف المياه العذبة وتوزيع الملوحة (Pritchard,1955)، بحيث يكون المصب متميزا بالأسفين الملحي ( Salt–Wedge) والمختلط جزئيا والمختلط جزئيا في محطات الفاو والسد الداخلي والسد الخارجي على التوالي وذلك خلال التصريف العالي، أما خلال التصريف المنخفض فيكون نوع الدوران مختلطا جزئيا في محطة الفاو ومختلطا جزئيا وطبقيا جزئيا في محطة السد الداخلي ومختلطا جزئيا في محطة السد الخارجي ( Al–Mahdi ,2001 )، إذ يلعب تصريف المياه العذبة دورًا كبيرًا في تشكيل الطبقات والاختلاط والدوران. ففي دراسة (الطائي وآخرين ، ٢٠١٩ ) تم استخدام برنامج MIKE 11 أحادي البعد لمحاكاة تسلل الملوحة من الخليج العربي إلى نهر شط العرب، بسبب تأثير ظاهرة المد والجزر في المنطقة. وتم المحاكاة لمدة ستة أشهر وباستخدام ثلاثة سيناريوهات لتصريف المياه العذبة بمعدلات ١٠ م$^3$/ثا و ٥٠ م$^3$/ثا و ١٠٠ م$^3$/ثا، مع الأخذ في الاعتبار أن المورد الوحيد للمياه العذبة هو نهر دجلة وأن نهر الكارون مغلق، أظهرت النتائج أن الملوحة تنتقل من مصدرها الخليج العربي إلى مركز مدينة البصرة بعد حوالي أربعة أشهر بقيمة تصريف ١٠ م$^3$/ثا وتسجل قيم الملوحة ١٢غم/لتر في هذه الحالة، في حالة تصريف ٥٠ م $^3$/ثا تتراوح قيم الملوحة من ٢–٢.٢غم/لتر في مركز البصرة ومن ٧–٦غم/لتر في منطقة السيبة، أما عند استخدام تصريف ١٠٠ م$^3$/ثا فإن قيم الملوحة تصل إلى ٤غم/لتر في محطة الفاو في حالة الجزر، وفي ضوء ذلك يمكن الاستنتاج أن توغل الملوحة لمسافة أطول في شط العرب يعتمد بشكل أساسي على المد والجزر وبخاصة في الطور الفيضي وكمية المياه العذبة القليلة المتدفقة، كما أن التحكم في مستويات الملوحة يعتمد بشكل أساسي على التفاعل الديناميكي بين قوى المد

والجزر وتصريف المياه العذبة. إذ تعمل ظاهرة المد والجزر على توغل الأملاح والمزج ، في حين يعمل تصريف المياه العذبة على العكس من هذا، مما يؤدي إلى تخفيف الملوحة. إذ تعمل أنماط المزج والدوران المتأثرة بعوامل طوبوغرافية، النهر والتوزيع الدقيق للملوحة، على توغل الأملاح خلال التصريف المنخفض للمياه العذبة ودفع المياه المالحة إلى البحر في أثناء التصريف العالي للمياه العذبة.

**المزج والدوران والتطبق وفقا للدراسات الحديثة :**

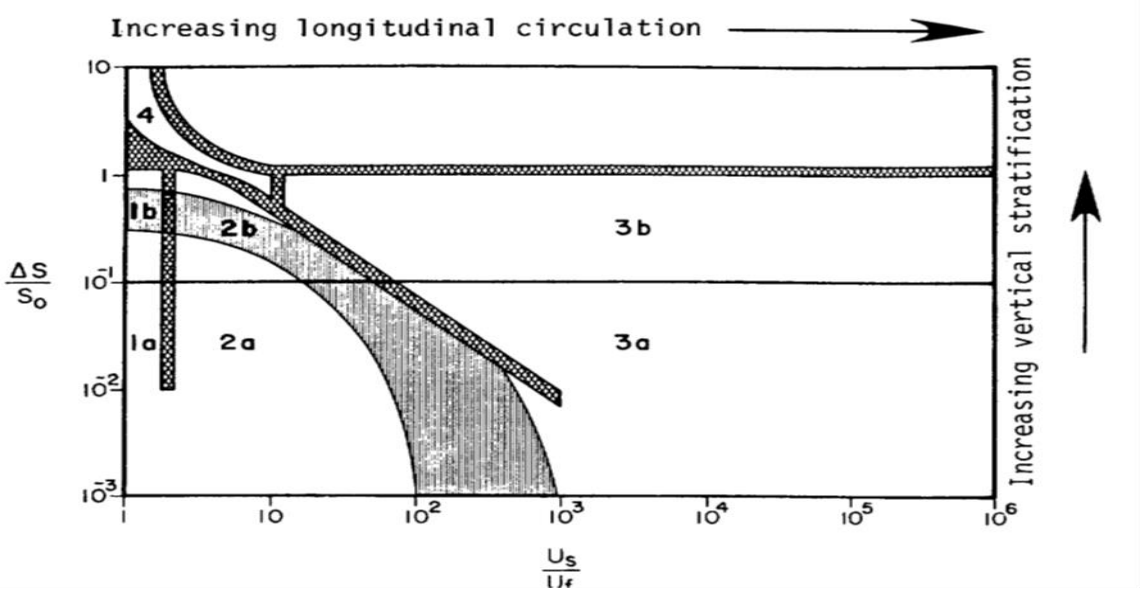
في الوقت الحاضر ووفقا للظروف الهيدرولوجية التي يتصف بها شط العرب والمتمثلة بانخفاض تصريف المياه العذبة التي تقدر ٥٠-٧٥ م³/ثا وتنخفض في بعض الأحيان إلى ١٠ م³/ثا ، تم محاكاة هذا الوضع من قبل (الطائي وآخرين ،٢٠١٩) باستخدام تصاريف ١٠ ،٥٠ ،٦٠ م³/ثا، فقد أشارت النتائج إلى أن رأس المصب يصل إلى موقع مركز البصرة والسيبة و٢٠ كم شمال الفاو على التوالي ويكون المصب ممتزجا كليا بسبب عمل خاصية الدوران للمد والجزر كمحرك أساسي لحركة المياه مما يسهل في اختلاط المياه المالحة في كل أجزاء النهر العليا، وفي حال توفر كمية تصريف ١٠٠ م³/ثا فأن رأس المصب يكون في الفاو وبملوحة تقدر بـ ٤ غم/لتر ويكون امتداد المصب داخل البحر، في هذه الحالة يكون الوضع مناسبا في ظهور مصب متطبق في النهر عند منطقة الفاو، وفي حالة انخفاض تصاريف المياه العذبة تعمل ظاهرة المد والجزر في السيطرة على ديناميكية المصب وتقوم بدفع الملوحة وانتقالها طوليا إلى أعلى النهر عن طريق الانتشار (الطائي وآخرون ،٢٠١٤) وهذا ما تفعله خاصية الدوران في توغل الملوحة إلى الأعلى. إن لتصريف المياه العذبة دوراً في الحفاظ على بيئة النهر وذلك في حال مساهمة نهر الكارون بكمية ٧٠-١٠٠ م³/ثا فينتج مصبا جنوب الفاو ( Lafta and Abdullah 2024, ) ، وعدم تكوين مصب داخل النهر عندما يتجاوز التصريف ١٠٠ م³/ثا ( lafta,2022B )، وسيكون المصب من النوع المتطبق في جنوب الفاو .من أجل تجاوز هذه الظروف الهيدرولوجية تقدمت دراسة ( Mahmood et al.2022) بإنشاء تركيب كونكريتي (سد ) للتقليل من توغل الملوحة داخل النهر من خلال قدرة المياه العذبة القليلة على خفض الملوحة أعلى التركيب مما يفضي إلى عمل تدرج ملحي وتكوين مصب من النوع المتطبق أعلى السد ويكون المصب أسفل التركيب من النوع المختلط جيدا.

وفي ضوء ما سبق فأن ملوحة مياه شط العرب تخضع لتأثيري تصريف المياه العذبة والمد والجزر، إذ يعمل دوران المد والجزر على خلط المياه العذبة في أعلى النهر بالمياه المالحة في حين يعمل التصريف عل دفع الملوحة نحو البحر، وفي حالة انخفاض التصريف يعمل المد والجزر على توغل الأملاح وينتج عن ذلك ملوحة طبقية ومن جانب ثانٍ يعمل الدوران بوجود انحدار ملوحة، أما عملية المزج

الناتجة من تأثير طوبوغرافية النهر فتعمل على توزيع الملوحة، ومن هنا يمكن القول إن تداخل فعل خصائص المزج والدوران والطبقية ينتج عنه تحديد مديات ملوحة المصب وعمل بيئة صحية للمصب.
يمكن الجزم بأن ملوحة مياه شط العرب ليست مجرّد مشكلة أملاح بل مشكلة طاقة. فعندما تنخفض الطاقة الحركية للنهر (التصريف)، تتغلب طاقة الوضع للمدّ، وبالتالي أن شط العرب لم يعد نهراً بالمعنى التقليدي، بل أصبح مدخلاً مدّياً شديد التأثر. ويُظهر التحول من نظام الطبقات الملحية إلى نظام المختلط الجيد في خلال فترات انخفاض التصريف أن النهر يفقد قدرته على صدّ مياه البحر.

**تصنيف المصب :**

من أكثر التصانيف دقة من الناحية الفيزيائية للمصب تصنيف الملوحة وسرع التيارات التي أساسها تصاريف المياه العذبة وتأثير التيارات الناتجة من سرعة الجريان للكتل المائية للمياه العذبة وتيارات المد والجزر ، وقد لخص ذلك كل من (Hansen and Rattray ,1966) هذه الصورة بمخططهما المشهور كما في الشكل (٥)




**الشكل (٥) مخطط هانسن و راتري ( Hansen and Rattray ,1966) لعاملي الطبقية والدوران .**

وقد اعتمد الكثير من الدراسات الحديثة في عملها على هذا المخطط وأثنت عليه بالرغم من قدمه بعض الشيء، إذ أشار ( Navas-parejo ,et al.,2022) للمخطط في حالة تطبق المصبات وتأثيرها على وظيفته للنظام البيئي ، ركزت دراسة(jalon-Rajos et al. ,2025) على المايكروبلاستك معتمدة

على دوران المصبات المتضمنة دور مخطط هانسن وراتري ،أشار ( Pérez-Ruzafa et al.,2023)إلى أن مخطط هانسن وراتري من أكثر المخططات مقبولية في تصنيف المصبات، اعتمد (Miranda,et al .,2021) على مخطط هانسن وراتري في تصنيف عدة مصبات بظروف مختلفة من المد والجزر، بين (Valle-Levinson, 2010) أنه بالرغم من قدم مخطط هانسن وراتري إلا أنه يستشهد به في كثير من الدراسات الحديثة، وقد استخدم ( Li et al., 2018 ) النموذج العددي في فهم ديناميكية المصب ولكنه في الوقت نفسه يشير بصراحة إلى أن مخطط هانسن وراتري يعد أساسا لفهم الدوران والتطبق في مصبات الأنهار.

قام (Al-Mahdi,1996 ) بإجراء الحسابات الخاصة بعامل الطبقية ( Stratification Parameter) وعامل الدوران ( Circulation Parameter) كما في الجدول (١) لمناطق مصب شط العرب الفاو والسد الداخلي والسد الخارجي

**الجدول (١) قيم الملوحة والتيارات في مصب شط العرب (Al-Mahdi,1996)**

| التأريخ | حالة الطورالمدي | الفاو | الفاو | السد الداخلي | السد الداخلي | السد الخارجي | السد الخارجي |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\Delta s / S_o$ | Us/Uf | $\Delta s / S_o$ | Us/Uf | $\Delta s / S_o$ | Us/Uf |
| 3/3/1994 | محاقي | 0.07 | 1.69 | 0.88 | 2.17 | 0.13 | 3.51 |
| 14/6/1994 | فيضي | 0.10 | 2.25 | 1.35 | 2.64 | 0.08 | 3.20 |
| 27/7/1994 | فيضي | 0.09 | 1.83 | 0.91 | 2.42 | 0.07 | 2.85 |
| 30/8/1994 | محاقي | 0.05 | 1.44 | 0.80 | 1.49 | 0.16 | 4.00 |

حيث $\Delta s$ معدل الملوحة الفرق بين ملوحة سطح الماء وملوحة القاع و $S_o$ معدل ملوحة مقطع النهر وUs صافي سرعة تيار سطح الماء نحو البحر و Uf

معدل سرعة التيار للمقطع و $\Delta s / S_o$ عامل الطبقية وUs/Uf عامل الدوران.

ووفقا للمخطط السابق فإن الحدود الفاصلة بين المناطق الأربع ليست ثابتة، إذ يمكن لمصب واحد أن يشمل جميع هذه المناطق وفقا لطبيعة تصريف المياه العذبة وتأثير المد والجزر. وهذا الحال ينطبق على منطقة الدراسة مصب شط العرب، إذ توصل ( Al -Mahdi,1996) إلى أن درجة التقسيم الطبقي والمزج تختلف على امتداد المصب وفقا لتصريف المياه العذبة، فقد قدَّر (Al-Mahdi,2001 ) تصاريف

المياه العذبة بأنها تتراوح بين ٥٨٠–١٨٦٣ م³/ثا خلال العام ١٩٩٣–١٩٩٤ لتمثل التصريف المنخفض والعالي على التوالي في حينها. في محطة الفاو الواقعة بالقرب من تصريف النهر، يميل عمود الماء إلى الاختلاط الجيد أثناء فترات التصريف العالي، كما تمنع سرعات التيار العالية المرتبطة بالتصريف العالي إنشاء طبقات مستقرة (Leonard,1977). وأثناء التصريف المنخفض، تسمح سرعات التيار المنخفضة بتطور الطبقات في محطة الفاو. وفي محطتي السد الداخلي والسد الخارجي الواقعتين باتجاه مصب النهر، تصبح تأثيرات المد والجزر أكثر هيمنة وفي أثناء التصريف العالي، تُظهر محطة السد الداخلي اختلاطًا جزئيًا، بينما يُظهر السد الخارجي مزيجًا من المختلط جزئيا والمختلط جيدًا. وهذا يشير إلى أن تأثير المياه العذبة يمتد إلى أبعد من البحر أثناء التصريف العالي، مما يؤدي إلى نشر الهالوكلاين (هي الحد الفاصل بين المياه العذبة الأقل كثافة القادمة من النهر على السطح والمياه الأكثر كثافة وملوحة ومصدرها البحر وتكون في الأسفل)ويحدث ذلك في جميع أنحاء عمود المياه العلوي، بينما يبقى النصف السفلي مختلطًا جيدًا، ينشأ من هذه الحالة مصب الجبهة المالحة ويقع في المنطقة ٤ عندما كان يتجاوز التصريف ١٠٠٠ م³/ثا كما كان في القرن المنصرم. وفي أثناء التصريف المنخفض، تميل محطة السد الداخلي إلى أن تكون أكثر طبقية، وتصبح محطة السد الخارجي مختلطة جيدًا، مما يعكس انخفاض تأثير المياه العذبة وسيطرة تأثير المد والجزر، تم قياس تدرجات الملوحة الرأسية المستخدمة لقياس التقسيم الطبقي عند ٢.٠٢ غم/لتر في محطة الفاو، و١٧.٨ غم/لتر في محطة السد الداخلي ، و١٠.٥ غم/لتر في محطة السد الخارجي وهذا يشير إلى أن التقسيم الطبقي يكون أقوى في محطة السد الداخلي ويزداد باتجاه رأس المصب، ولا سيما أثناء التصريف المنخفض عندما يكون دوران الكثافة محدوداً في محطة الفاو وكذلك بين محطتي السد الداخلي والسد الخارجي، وبالتالي يمكن تحديد أماكن هذه المحطات المكونة لمصب شط العرب، ففي حالة التصريف العالي للمياه العذبة تكون محطة الفاو في المنطقة 1b ومحطتا السد الداخلي والسد الخارجي متذبذبة في المناطق 1b, 2a، أما في حالة التصريف المنخفض فتقع محطة الفاو في المنطقة 1a ومحطة السد الداخلي في المنطقة 1a وكذلك محطة السد الخارجي في المنطقة 3b.

ووفقا للتغيرات الهيدرولوجية التي يتميز بها نهر شط العرب في الآونة الأخيرة والمتمثلة بانخفاض تصاريف المياه العذبة ، بحيث وصل معدل التصريف إلى ٥٠ م³/ثا وإلى ما دون ذلك في بعض الأحيان، أدى ذلك إلى توغل الأملاح البحرية إلى داخل شط العرب طوليا بحيث سجلت قيم الملوحة اختلافا أفقيا وفقا للبعد عن مصدر الملوحة والمد والجزر والمتمثل بالخليج العربي (الطائي وآخرون ،٢٠١٤) ، بينما يكون عمود الماء ممتزجا كليا أي عدم وجود فروقات في قيم الملوحة بين السطح والعمق بعمود الماء، وتم محاكاة هذا الوضع رياضيا من قبل (الطائي وآخرين ،٢٠١٩ ) ، يمكن تفسير ذلك بأن زيادة توغل

الملوحة مع انخفاض حاد في المياه العذبة، ليصبح تأثير اندفاع مياه البحر من الخليج العربي أكثر هيمنة. فيؤدي هذا إلى ارتفاع مستويات الملوحة في جميع أنحاء المصب، وزيادة درجة الاختلاط الرأسي بسبب تغلغل تيارات المد والجزر ، ينتج عن مصب مختلط جيدا (خلط قوي ، شبه موحد في الملوحة بين السطح والقاع ) ، في هذه الحالة يكون موقع المصب في المنطقة 3a من مخطط هانس وارتريا . وباختصار يتميز موقع مصب شط العرب في مخطط راتراي وهانسن بديناميكية عالية، ويتراوح من جيد الخلط ومختلط جزئيًا خلال فترات تصريف المياه العذبة المنخفضة إلى مختلط جزئيًا وطبقي خلال فترات تصريف المياه العذبة العالية .

إن استخدام مخطط هانسن–راتراي يعد اختياراً جيداً لفهم تصنيف مصب شط العرب، إذ تحول مصب شط العرب من نظام إسفيني ملحي مدفوع بالتصريف (المنطقة ٤) إلى نظام مختلط جيداً مدفوع بالمد والجزر (المنطقة ١أ). وقد أدى هذا التحول في النظام، والناجم عن انخفاض تصريف المياه العذبة إلى ما دون عتبة ١٠٠ م$^3$/ثا الحرجة، إلى تحويل آلية نقل الأملاح من الحمل إلى الانتشار الطولي، مما يستلزم تدخلات ببناء تراكيب هيكلية لاستعادة توازن قابل للاستمرار بين المياه العذبة والمياه المالحة.

**الأستنتاجات:**

وفقا لما ورد في تحليل نتائج الدراسات التي أجريت على مصب شط العرب ،يمكن استنتاج ما يأتي:

١–اختلفت بيئة شط العرب ومصبه من بيئة نهرية إلى بيئة بحرية، إذ لم تكن الملوحة تتجاوز 1.5 غم/لتر وذلك لوفرة المياه العذبة القادمة من أنهر دجلة والفرات والكارون، وتدريجيا بدأ انخفاض تصريف المياه ليصل إلى 50 م$^3$ /ثا في الوقت الحاضر، أدى ذلك ليكون النهر جزءا من المصب لتوغل الأملاح البحرية إلى أعلى النهر .

٢– يتميز مصب شط العرب بظاهرة المد والجزر التي مصدرها الخليج العربي وقد كان نوع المد من النوع المختلط –النصف اليومي السائد والمركبة المدية القمرية النصف اليومية M2 هي الأكثر تأثيرا في ارتفاع مستوى المد .

٣– يحتاج مصب شط العرب إلى أكثر من شهرين لتفريغ وتجديد مياهه في الوقت الحاضر، بينما الوقت المطلوب لذلك لا يتجاوز أكثر من ثلاثة أيام خلال سنوات القرن الماضي.

٤– تتراوح قيمة نسبة التدفق بين 0.012 إلى 0.071 في الوقت الحاضر مما خلق مصبا ممتزجا جيدا، بينما كان المصب يتميز بالتطبق عندما كانت تصاريف المياه العذبة كبيرة.

٥– حدود المصب العليا والسفلى غير ثابتة بسب تغيرات كميات التصريف، ينتج عن عدة حالات يمر بها المصب بين المصب المتطبق والمصب الممتزج جزئيا وإلى المصب الممتزج كليا.

٦- فقدت ظاهرة التطبق في المصب إذ لا يوجد اختلاف في كثافة المياه بسبب عدم وصول تأثير المياه العذبة .

٧- تؤدي ظاهرة المد والجزر دورا أساسيا في دوران وخلط مياه المصب بسبب غياب دور تيار تصريف المياه العذبة.

٨- لتصريف المياه العذبة العالي ينتج دوران محلي أسفيني في أعلى المصب ودوران وخلط جزئي في المناطق السفلى من المصب.

**المصادر:**


الأسدي ،صفاء عبد الأمير والمحمود ،حسن خليل و عبدالله ،صادق سالم (٢٠١٥) تخمين الحد الأدنى لصافي التصريف المائي في شط العرب (جنوب العراق).مجلة أداب البصرة ،العدد ٧٢ ،٢٨٥-٣١٤ .

الطائي ، سامر عدنان وعبدالله ،صادق سالم و لفتة ،علي عبد الرضا (٢٠١٤)أنماط الانتقال الطولي للملوحة في مصب شط العرب وأسبابها .. JKAU: Mar. Sci., Vol. 25. 2, pp: 205-221 ، DOI :10.4197/Mar. 25-2.10205

الطائي ، سامر عدنان وعبدالله ،صادق سالم و المهدي ،اياد عبدالجليل (٢٠١٩) .محاكاة ظاهرة التوغل الملحي في شط العرب -جنوب العراق .*JKAU: Mar. Sci.,* Vol. 29. 2,No.1 pp: 91-103. ، DOI :10.4197/Mar.29-1.6

المحمود، حسن خليل حسن (٢٠٢٠) تحليل مرجعي لبيانات التصريف والملوحة في شط العرب .المجلة العراقية للاستزراع المائي، المجلد (١٧)العدد(١) ١١ – ٢٦ .

عبدالله، صادق سالم (١٩٩٠) دراسة في الحمولة النهرية لشط العرب في مدينة البصرة، رسالة ماجستير، مر كز علوم البحار، جامعة البصرة، ١١٥ صفحة.

عبدالله ،صادق سالم (٢٠١٤) ظاهرة المد والجزر في شط العرب ،جنوب العراق .مجلة الخليج العربي ،المجلد (٤٢) العدد٣- ٤، الصفحات ١٣٣-١٥٥.

عبدالله ، صادق سالم و لفتة ،علي عبدالرضا ( ٢٠٢٤ ) التباين الجغرافي للخصائص الفيزيائية للمياه والهواء لشط العرب في البصرة .مجلة آداب ذي قار، المجلد ٩ ،العدد ٤٧ ،الصفحة ١١٧ – ١٣٩.

عبدالله، صادق سالم و لفتة، علي عبدالرضا (٢٠٢٥) زمن التفريغ لمياه شط العرب بأستخدام طريقة موشور المد والجزر ،جنوب العراق .مجلة آداب البصرة ،العدد ١١٣،الصفحات ٢٣٧-٢٥١.

مركز علوم البحار – جامعة البصرة (٢٠٢١) التوغل الملحي في مصب شط العرب ،دراسة أنشاء سدة تنظيمية وأثرها البيئي . (دراسة غير منشورة )

Abdullah Ali Dinar, Usama F. A. Karimc, Ilyas Masihd, Ioana Popescue and Pieter Van der Zaagf .2016. Anthropogenic and tidal influences on salinity levels of the Shatt al-

Arab River, Basra, Iraq.. Int. J. River Basin Management, Vol. 14, No. 3, 357–366, doi.org/10.1080/15715124.2016.1193509
Abdullah,Sadiq Salim .2002 .Analysis of tide wave in Shatt Al Arab Estuary ,South of Iraq .Marina Mesopotamica . Marine Science Centre , Basrah Uni. ,17(2):305-315.
Abdullah,S.S.; Lafta, A.A.; Al-Taei, S.A. and Al-Kaabi, A.H. 2016. Flushing Time of Shatt Al-Arab River, South of Iraq, Mesopot. J. Mar. Sci., 2016, 31(1): 61 – 74.
Abdullah Sadiq S., Adel J. Al-Fartousi , Ali A. Lafta.2023.The impact of buildup proposed barrage on tidal hydrodynamics in the Shatt Al-Arab River, South of Iraq. Mesopot. J. Mar. Sci., 2023, 38(1):33-45 DOI: https://doi.org/10.58629/mjms.v38i1.325
Albadran, B., Al-Mahdi, A.A. and Abdullah, S.S. 2001. Progression of tidal wave in the Shatt Al-Arab River, South of Iraq. Marina Mesopotamica, 16(1): 89-100.
Al-Fartusi, Adel Jassim and Abdullah, Sadiq Salim.2023. Calculation of Tidal Constituents Using a Numerical Model in the Shatt al-Arab River Estuary Journal of Education for Pure Science- University of Thi-Qar,Vol.13,No.3. DOI: http://doi.org/10.32792/utq.jceps.10.01.01
Al-Mahdi, A.A. and Abdullah, S.S. 1996. Tidal phase influence on salinity distribution In Shatt Al-Arab Estuary. Marina Mesopotamica, 11(2), 229 – 241.
Al-Mahdi,A.A.1996 .Salt-wedge procession in Shatt-Al Arab Estuary. Marina Mesopotamica,11(1) :107-115
Al-Mahdi ,A.A. and Abdullah,S.S. 1999.Some aspects of the tidal currents in the Shatt Al-Arab Estuary . Marina Mesopotamica, Marine Science Centre , Basrah Uni., 14 (2) : 323-337 .
Al-Mahdi, A.A. 2001. Some considerations of mixing ,stratification and circulation during low and high discharges in Shatt Al Arab Estuary, South of Iraq. Marina Mesopotamica, 16(1): 21-36.
Al Mahmood ,Hassan K. and Mahmood ,Ali B. 2019.Effect of Karun River on Salinity Status in Shatt Al -Arab River,Mesopotamian Journal of Marine Sciences 34(1),DOI: 10.58629/mjms.v34i1.42
Al-Asadi, S. A. R., Alhello, A. A., and Al-Okaili, A. A. 2019 .General assessment of Shatt Al-Arab River, Iraq. Journal of Environmental Science and Engineering, 5(1), 1-19.
Al-Asadi Safaa A. R, Abdulzahra A. Alhello, Hussein B. Ghalib, Wisam R. Muttashar & Hatim T. Al-Eydawi .2022.Seawater intrusion into Shatt Al-Arab River, Northwest Arabian/Persian Gulf Journal of Applied Water Engineering and Research, 2022 https://doi.org/10.1080/23249676.2022.2113460
Alireza Ardalan and Mohammad J. Touriaan.2010. A new tidal model for the Persian Gulf and Oman Sea based on satellite altimetry and coastal tidal gauge observations.Journal of the Earth and Space Physics, 36(3)
Al-Subhi ,Abdullah Mohammed .2010.Tide and Sea Level Characteristics at Juaymah, West Coast of the Arabian Gulf. Journal of King Abdulaziz University-Marine Sciences 21(1):133-149,DOI:10.4197/Mar.21-1.8
Alosairi, Y.; Imberger, J. and Falconer, R.A. 2011 .Mixing and Flushing in the Persian Gulf (Arabian Gulf). Journal of Geophysical Research: Oceans, 116, C03029

Alosairi Yousef and Pokavanich Tanuspong .2017.Residence and transport time scales associated with Shatt Al-Arab discharges under various hydrological conditions estimated using a numerical model, Marine Pollution Bulletin(2017),http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.039

Bowden, K. 1967. Circulation and Diffusion In.: Estuaries (Vol. 83). (G. Luaff, Ed.) Washington ,D.C.: Publication, American Association for Advancement of Science.

Chandy V. John.1992. Harmonic tidal current constituents of the western Arabian Gulf from moored current measurements. Coastal Engineering,Volume 17, Issues 1–2, pp: 145-151.

Center of Studies and Engineering Designs Ministry of Water Resources(CSED), Republic of Iraq .2012. Shatt Al-Arab Irrigation Project, Task E Salt Intrusion Model Final Report,53p.(Unpublised)

Dyer, K. R. 1997. Estuarine oceanography (2nd ed.). John Wiley & Sons.300p.

Dijkstra, Y. M., & Schuttelaars, H. M. 2021. Adjustment and Extension of the Hansen and Rattray Estuarine Classification Diagram.Journal of Geophysical Research*:* Oceans, Volume 126, Issue 10,DOI: 10.1029/2021JC017498

Emily Hammer and Angelo Di Michele(2023) The Suburbs of the Early Mesopotamian City of Ur (Tell al-Muqayyar, Iraq)

American Journal of Archaeology, Vol. 127, No. 4. American Journal of Archaeology Vol. 127, No. 4, pp. 449-479

DOI: 10.1086/725907

Evans- Roberts, D.J. 1979. Tides in the Persian Gulf. In the consulting Engineer, June,1979

Fawaz Madah and Sameer H. Gharbi .2022.Numerical simulation of tidal hydrodynamics in the Arabian Gulf. Oceanologia , Vol. 64, No. 2, P: 327-345.

General Establishment for Studies and Designs (GESD ) Ministry of Irrigation,Republic of Iraq ; Polservice and Hydroproject .1981. Shatt Al-Arab Project,Feasibility Report , Volume IX ,p:316,

(Unpublished ) .

Guo, L., Wang, Z.B., Townend, I., He, Q.2019. Quantification of Tidal Asymmetry and Its Nonstationary Variations. J. Geophys. Res.-Ocean. 124 (1), 773—787. https://doi.org/10.1029/ 2018JC01437

Hughes ,p. and J.R. Hunter.1979 .Physical oceanography of numerical modelling of the Kuwait Actin Plan region ,UNESCO ,division of Marine Science report MARINE/278

Jalón-Rojas, I., Defontaine, S., & Planella, O. 2025. Modelling Microplastic Dynamics in Estuaries: A Comprehensive Review, Challenges and ecommendations.science of The Total Environment,Volume/Issue: Volume 955 (In prees)

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174246

Khayyum Amtair Rahi.2018.Salinity Management in the Shatt Al-Arab River. International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.20) (2018) 128-133 .

Koske,P.H. 1972.Hydrographic conditions in the Persian Gulf on the basis of observations aboard R. V.(Meteor) in spring 1965, (Meteor) Forschungsergebnisse ,Series A,No.11 ,pp: 59-79 .

Lafta,Ali A.and Abdullah,Sadiq S.2024.Impact of a Proposed Barrage on the Tidal Wave Characteristics and Salinity Distribution in the Shatt Al-Arab River Estuary, Mesopotamian Journal of Marine Sciences Mesopot. J. Mar. Sci., 2024, 39(1):93-106 DOI:10.58629/mjms.v39i1.364

Lafta ,Ali A.2022a. Numerical assessment of Karun river influence on salinity intrusion in the Shatt Al-Arab river estuary, northwest of Arabian Gulf .Applied Water Science volume 12, article number 124.

Lafta, A.A. 2022b . Investigation of tidal asymmetry in the Shatt Al-Arab river estuary, Northwest of Arabian Gulf. Oceanologia, 64, 376—386. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.01.005.

Leonard,W.H. 1977 .The effect of the sprig-neap tidal cycle on the vertical salinity structure of James ,York and Rappahannock Rivers ,Virginia ,U.S.A, Estuarine and Coastal Marine Science,5:485-496.

Li, C., MacCready, P., & Geyer, W. R. 2018. An idealized study of the structure of long, partially mixed estuaries. Journal of Physical Oceanography ,Volume 48, Issue 3,DOI: 10.1175/JPO-D-17-0097.1

Miranda, L. B., da Silva, J. B. A., & de Melo, L. P. 2021. Dynamics of the Itajaí-Açu and Itajaí-Mirim estuarine systems, Southern Brazil, during low and high river discharge conditions. Journal of Coastal Research, 37(6), 1184-1196

Mahmood Ali Bassal, Sadiq Salim Abdullah and Ali Abdulridha Lafta.2022.Proposed treatment to reduce salinity intrusion into the Shatt Al-Arab estuary by using temporary storage in a convergent of channel in the context of tide. International Journal of River Basin Management, https://doi.org/10.1080/15715124.2022.2101466.

Navas-Parejo, P., Navas-Parejo, J. L., Otero-Ferrer, F., & Garrido-Perez, C. 2022. Spatial and Temporal Variations of Estuarine Stratification and Flushing Time Across the Continental U.S. Estuaries and Coasts, Volume 45, Issue 7,DOI: 10.1007/s12237-022-01046-1

Pickard, G. L., & Emery, W. J.1990. Physical oceanography: An introduction (2nd rev. ed.). Pergamon Press.320 p.

Parker, B.B.2007. Tidal Analysis and Prediction. National Ocean Service, NOAA Spec. Publ. https://doi.org/10.25607/OBP-191

Pérez-Ruzafa, A., Pérez-Ruzafa, I. M., Mompeán, M. C., Marcos, C., & Barahona-Palomo, L. 2023. A Dynamic Estuarine Classification of the Vertical Structure Based on the Water Column Density Slope and the Potential Energy Anomaly. Estuarine, Coastal and Shelf Science , Volume 290
DOI: 10.1016/j.ecss.2023.108422

Polanco F. Andrea , Mutis Martinezguerra Maria , Marques Virginie , Villa-navarro Francisco , Borrero Pérez Giomar Helena , Cheutin Marie-charlotte , Dejean Tony , Hocdé Régis , Juhel Jean-Baptiste , Maire Eva , Manel Stéphanie , Spescha Manuel , Valentini Alice , Mouillot David , Albouy Camille , Pellissier Loïc.2021.Detecting

aquatic and terrestrial biodiversity in a tropical estuary using environmental DNA. Biotropica , Vol. 53,No. 6 Pp: 1606-1619 https://doi.org/10.1111/btp.13009
Pritchard, D.W. 1969. Dispersion and Flushing of Pollutants in Estuaries .Journal of Hydraulics Division, ASCE, HY1. pp. 115-124
Pritchard, D.W., and J.R. Schubel. 1971. What is an Estuary, The Estuarine Environment-Estuaries and Estuarine Sedimentation. American Geological Institute. Washington, D.C. , American Geological Institute, c1971.
Ralston, D. K., & Geyer, W. R. 2019. Response to Channel Deepening of the Salinity Intrusion, Estuarine Circulation, and Stratification in an Urbanized Estuary. Journal of Physical Oceanography Volume 49, Issue 11,DOI: 10.1175/JPO-D-19-0012.1
Reynolds, M. 1993. Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman: Results from the Mt. Mitchell expedition. Marine Pollution Bulletin, 27: 35-59. doi.org/10.1016/0025-326X(93)90007-7
Sadrinasab Masoud and Jochen Kampf .2004. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf, Gephysical Research Letters, Vol. 31, L24301, doi:10.1029/2004GL020425, 2004
Schultz, E.A., and H.B. Simmons. 1957. Freshwater-Salt Water Density Current, a Major Cause of Siltation in Estuaries. Commission on Tidal Hydraulics,U.S. Army Corps of Engineers. Technical Bulletin No. 2.
Stéphane Pous , Xavier Carton and Pascal Lazure.2012. A Process Study of the Tidal Circulation in the Persian Gulf. Open Journal of Marine Science, 2012, 2, 131-140, doi.org/10.4236/ojms.2012.24016
U.S. Geological Survey (USGS). (2011). Office of Water Quality Technical Memorandum 2011.03. https://water.usgs.gov/water-resources/memos/documents/WQ.2011.03.pdf

Valle-Levinson, A. 2010. Definition and classification of estuaries. Treatise on Estuarine and Coastal Science, Academic Press,Vol.1,pp:9-2
Yoon Byung Il and Woo Seung-Buhm .2013. Correlation between freshwater discharge and salinity intrusion in the Han River Estuary, South Korea B, In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 1247-1252.