

## مدل ریاضی عددی یک بعدی انتقال و انتشار شوری در سیستم کارون، بهمنشیر و حفار با در نظر گرفتن شرایط جزر و مد دریا

حسین محمد ولی سامانی<sup>1</sup>، مهدی وهابیان<sup>2</sup> و جوانشیر عزیزی مبصر<sup>3</sup>

### چکیده

تحلیل شوری در نزدیکی‌های مصب به دریا عموماً پیچیده‌تر از تحلیل رودخانه یا دریاچه می‌باشد. دلیل این موضوع پدیده جزر و مد است که باعث می‌شود گاهی جریان به سمت بالادست رودخانه و گاهی به سمت دریا باشد. جبهه شوری در زمان مد به سمت بالادست رودخانه و در زمان جزر به سمت دریا حرکت می‌نماید. این موضوع باعث اختلاط آب شور با آب شیرین در طول رودخانه می‌گردد. در این مقاله، معادلات دیفرانسیلی انتقال جرم برای تعیین تغییرات غلظت شوری در نقاط مختلف یک رودخانه شاخه‌ای متصل به دریا با در نظر گرفتن شرایط جزر و مدی حل گردیده است. امکان کاربرد مدل عددی تهیه شده در محاسبه و پیش‌بینی وضعیت شوری در سیستم کارون، بهمنشیر و حفار ارایه گردیده است. در این مدل شرایط جزر و مدی دریا در نظر گرفته شده است. مدل تهیه شده برای شرایط بحرانی موجود و بدترین شرایط محتمل در آینده اجرا گردیده است. هم‌چنین غلظت شوری در شاخه بهمنشیر با اعمال شرایط مرزی مختلف دبی آب شیرین در بالادست پیش‌بینی شده است. برای تعیین شرایط هیدرولیکی در سیستم کارون، بهمنشیر و حفار از مدل HEC-RAS استفاده گردیده است. نتایج به‌دست آمده توسط این مدل نشان می‌دهد که جریان آب شیرین ورودی مهم‌ترین عاملی است که شرایط شوری در رودخانه بهمنشیر و کارون را تعیین می‌کند. به طوری که با افزایش جریان آب شیرین ورودی، میزان شوری کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: مدل عددی، تهاجم شوری، سیستم کارون، بهمنشیر و حفار

1. استاد دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران، اهواز.

2. کارشناس ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

3. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز

## مقدمه

به علت شاخه‌ای بودن سیستم کارون، بهمنشیر و حفار و پیچیدگی شرایط مرزی جزر و مدی و تغییر جهت جریان به طور مرتب، مدل‌های رایج موجود برای حل مسئله شوری مناسب نمی‌باشد. بنابراین در این مقاله از روش عددی تفاضل محدود-تئوری حجم کنترل (پاتانکار، 1980)<sup>6</sup> استفاده شده است و به منظور انفصال جمله همرفت از طرح بار بالا دست<sup>7</sup> استفاده شده است.

## تئوری

معادله حاکم بر حرکت شوری در جریان رودخانه به صورت مدل یک بعدی با فرض اختلاط کامل بیان می‌شود (فیشر و همکاران، 1979؛ آدامز و کوسیسی، 1980؛ کرنکل و نووتنی، 1980):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \pm S \quad (1)$$

$C =$  غلظت شوری،  $u =$  سرعت جریان آب  
 $D =$  ضریب پخشیدگی،  $S =$  محل کاهش یا مخزن شوری<sup>8</sup>  
 شوری<sup>8</sup>

در معادله فوق به جمله  $u \frac{\partial C}{\partial x}$  جمله همرفتی و به جمله  $\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$  جمله پخشیدگی می‌گویند. با توجه به معادله (1) ملاحظه می‌شود که برای حل آن  $u$  که نماینده شرایط هیدرولیکی جریان است باید قبلاً تعیین شده باشد. برای تعیین شرایط هیدرولیکی در سیستم کارون، بهمنشیر و حفار از مدل HEC-RAS استفاده گردیده است. این مدل جامع یک بعدی برای جریان غیر ماندگار<sup>9</sup> می‌باشد.

## حل هیدرولیک

برای به دست آوردن شرایط هیدرولیکی و تغییرات سرعت و عمق جریان با زمان در نقاط مختلف لازم است که اطلاعات کامل مورد نیاز سیستم نشان داده شده در شکل (1) به مدل کامپیوتری HEC-RAS داده شود. اطلاعات مورد نیاز مدل ریاضی عبارتند از:

وضعیت شوری در رودخانه‌های بهمنشیر و حفار در جنوب غرب کشور به حدی رسیده است که مطالعه علمی آن امری اجتناب ناپذیر گشته است. برای یافتن راه حل‌های ممکن قدم اول بررسی وضعیت موجود و پیش‌بینی حالات بحرانی در شرایط موجود می‌باشد. در این مقاله وضعیت و شرایط شوری در محدوده رودخانه‌های کارون، بهمنشیر و حفار که شهر اهواز مرز بالا دست آن به حساب می‌آید مورد مطالعه قرار گرفته است. حرکت شوری در اثر دو مکانیزم صورت می‌گیرد: یکی مکانیزم همرفتی<sup>1</sup> که جریان آب همراه خود شوری را منتقل می‌کند. مکانیزم دوم پخشیدگی است که عبارت از انتقال مواد شیمیایی از قسمتی که غلظت بیشتر است به بخشی که غلظت کمتر است. انتقال جرم در اثر پخشیدگی در اثر دو مکانیزم است: یکی حرکت و انرژی مولکولی و دیگری تلاطم جریان، بدین ترتیب که نوسانات سرعت جریان بر روی مکانیزم همرفتی اثر می‌گذارد و باعث ایجاد نوسانات در غلظت شوری می‌گردد. این نوسانات در مجموع هر چه گرادیان غلظت در محلول بیشتر باشد باعث انتقال جرم شوری بیشتر می‌شوند. بدین دلیل است که نهایتاً عملکردی شبیه پخشیدگی مولکولی خواهد داشت. به این پدیده، پخشیدگی ناشی از تلاطم<sup>2</sup> می‌گویند.

تکنیک‌های تحلیلی برای حل معادلات همرفت - انتشار (انتقال جرم) عموماً محدود به مسائل ساده با ضرایب ثابت می‌شوند. تعداد خیلی کمی حل تحلیلی برای معادله‌ی یک بعدی همرفت - انتشار با سرعت و ضریب انتشار متغیر وجود دارد. حل‌های تحلیلی برای این معادله به وسیله باری و اسپوزیتو<sup>3</sup> (1989) و ال-هابل و باشا<sup>4</sup> (1993) در حالت ضرایب متغیر مکانی و به وسیله فیلیپ<sup>5</sup> (1994) برای ضریب انتشار متغیر ارائه شده است. بسیاری از این راه حل‌های تحلیلی برای استفاده پیچیده هستند و محدود به مسائلی با شرایط مرزی و اولیه خاصی می‌شوند.

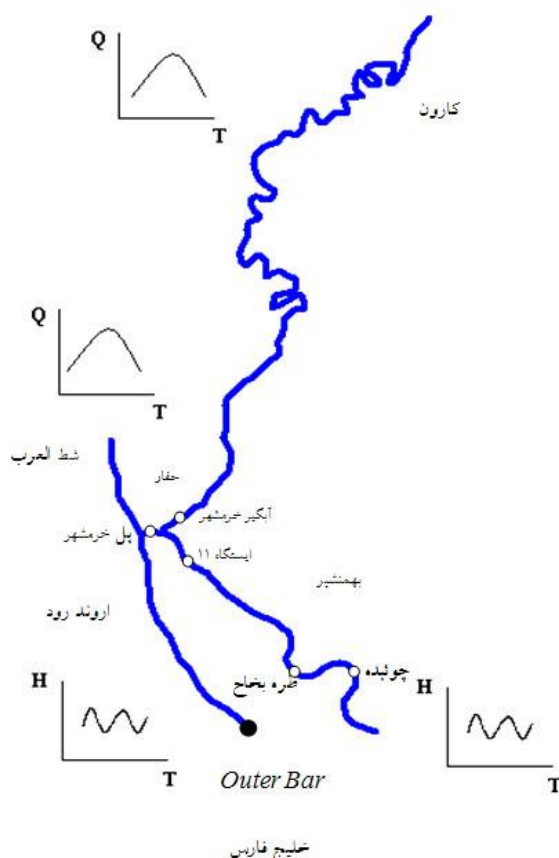
1. Advection
2. Turbulent diffusion
3. Barry & Sposito
4. El-Habel & Basha
5. Philip

6. Patankar  
 7. Upwind scheme  
 8. Sink or Source  
 9. Unsteady flow

مدل هیدرولیک باید توجه خاصی مبذول شود. هر تغییر معنی‌داری در شرایط هندسی مقاطع جریان به‌عنوان مثال لایروبی شرایط غلظت شوری را به‌علت کاهش هیدرولیکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌دهد (کچام، 1951؛ فیشر و همکاران، 1979؛ کوسیک و همکاران، 1986 و گالپرین و همکاران، 1988).

الف) مقاطع عرضی  
ب) ضرائب زبری  
ج) شرایط مرزی

مقاطع عرضی شط‌العرب و اروند رود و هم‌چنین شرایط مرزی بالادست در دسترس نمی‌باشد. بنابراین اجرای مدل کامل در شرایط فعلی غیر ممکن است. دقت مدل هیدرولیک اثرات عمده‌ای بر نتایج محاسبات غلظت شوری می‌گذارد. بنابراین برای واسنجی



شکل 1: سیستم کارون، بهمنشیر و حفار مدل شده

حفار و اروندرود عبارتند از تغییرات اشل  $H$  در برابر زمان  $T$  در مدت اجرای مدل. شرایط مرزی مورد نیاز در اهواز با توجه به اطلاعات ثبت شده در ایستگاه اهواز موجود است و لیکن شرایط مرزی بهمنشیر و حفار به علت نبود ایستگاه هیدرومتری موجود نمی‌باشد.

### شرط مرزی پائین دست حفار و بهمنشیر

### شرایط مرزی مورد نیاز مدل هیدرولیک

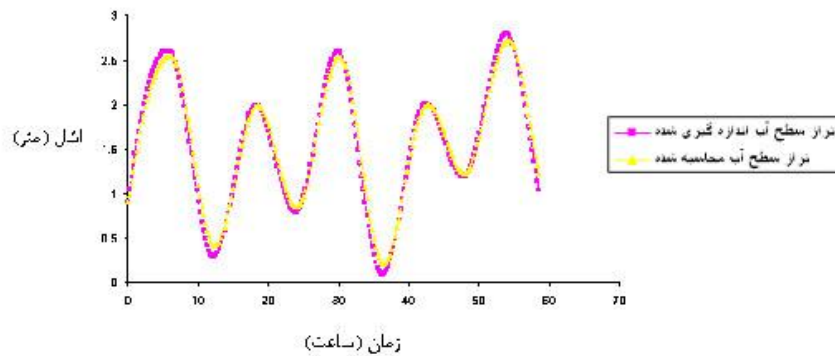
سه شرط مرزی به‌ترتیب زیر مورد نیاز است:

- شرط مرزی در اهواز
- شرط مرزی در مصب بهمنشیر به دریا
- شرط مرزی در محل تلاقی حفار - اروندرود
- شرط مرزی مورد نیاز در اهواز عبارت است از تغییرات دبی  $Q$  در برابر زمان  $T$  در مدت اجرای مدل و شرایط مرزی در محل‌های مصب بهمنشیر به دریا و محل تلاقی

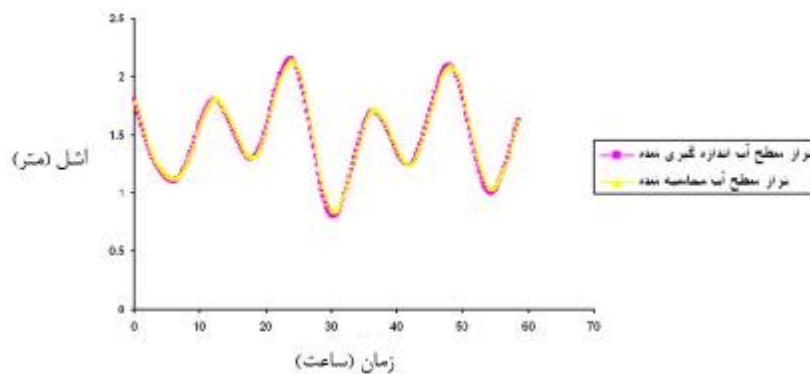
مدل ریاضی عددی یک بعدی انتقال و انتشار شوری در سیستم کارون، بهمنشیر و ...

مدل کامپیوتری هیدرولیک HEC RAS و مقایسه نتایج حاصله با نتایج ثبت شده در ایستگاه‌های چوئیده و پل خرمشهر آن قدر شرایط مرزی تعدیل و اصلاح گردید تا نتایج محاسباتی مدل با نتایج اندازه‌گیری در ایستگاه‌های مذکور نزدیک به هم‌دیگر گردید. ضمن این‌که به منظور واسنجی مدل از اطلاعات اشل - زمان و شوری - زمان ثبت شده در روزهای 5 و 6 خرداد سال 1380 که به صورت ساعتی ثبت شده‌اند استفاده شده است. در شکل‌های (2) و (3) نتایج واسنجی مدل هیدرولیک برای ایستگاه‌های چوئیده در رودخانه بهمنشیر و پل خرمشهر در رودخانه حفار نشان داده شده است.

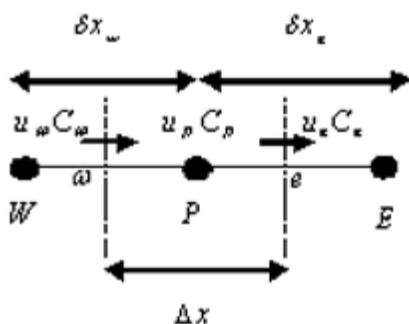
به علت نبودن ایستگاه در محل‌های اتصال شاخه حفار به اروند و مصب بهمنشیر به دریا برای تهیه شرایط مرزی در دو محل مذکور از اطلاعات اشل - زمان ثبت شده در ایستگاه‌های پل خرمشهر در رودخانه حفار و ایستگاه چوئیده روی شاخه بهمنشیر استفاده شده است. ابتدا برای اطلاعات اشل - زمان پائین دست حفار و بهمنشیر از اطلاعات ثبت شده در محل Outer Bar در خلیج فارس که نزدیک‌ترین محل به نقاط مرزی مدل ذکر شده به حساب می‌آید به عنوان حدس اولیه استفاده شده این اطلاعات از کتابچه جداول جزر و مد نیروی دریایی انگلستان (ATT) تهیه گردید. سپس با اجرای



شکل 2: مقایسه تراز سطح آب اندازه گیری شده و محاسبه شده ایستگاه پل خرمشهر - رودخانه حفار



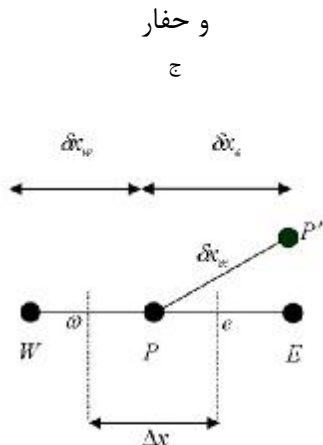
شکل 3: مقایسه تراز سطح آب اندازه گیری شده و محاسبه شده ایستگاه چوئیده - رودخانه بهمنشیر



### حل عددی مدل شوری

با در نظر گرفتن حجم کنترل مطابق شکل (4) و با انتگرال گیری از معادله حرکت شوری (1) می‌توان نوشت:

شکل 5: نقطه انشعاب در رودخانه‌های کارون - بهمنشیر



شکل 6: سلول محاسباتی در نقطه انشعاب

$$\begin{aligned}
 & a_w C_w^{n+1} + a_E C_E^{n+1} + a_p C_p^{n+1} \\
 & = C_p^n \Delta x - u_m^{n+1} C_m^{n+1} \Delta t \\
 & - D_m \left( \frac{C_p^{n+1} - C_p'^{n+1}}{dx_m} \right) \Delta t
 \end{aligned} \quad (9)$$

که در معادله فوق  $P'$  اولین گره در رودخانه حفار است. روش حل معادله فوق بر اساس الگوریتم توماس و روش تکرار می‌باشد. بدین صورت که ابتدا  $C_p$ ، غلظت شوری در ابتدای رودخانه‌ی حفار حدس زده می‌شود سپس دستگاه معادلات حاصل به صورت سه قطری حل می‌شود. حال مقادیر  $C_p$  به دست آمده با مقادیر  $C_p'$  تکرار قبلی مقایسه می‌شود در این حالت معمولاً یک تلورانس انتخاب می‌شود که عددی بسیار کوچک است، قدر مطلق تفاوت مقادیر به دست آمده و مقادیر تکرار قبلی محاسبه می‌شوند چنانچه این قدر مطلق بزرگ‌تر از تلورانس باشد مقادیر محاسبه شده جدید جای‌گزین مقادیر قبلی می‌شوند و محاسبات مجدداً تکرار می‌شود تا هم‌گرایی حاصل شود یعنی قدر مطلق تفاوت مقادیر مذکور کوچک‌تر از تلورانس گردد.

### شرایط مرزی و اولیه

شرایط مرزی و اولیه برای مدل شوری به صورت

زیر است.

شرط اولیه:

شکل 4: سلول محاسباتی ( $u$  سرعت و  $C$  غلظت)

(2)

$$\begin{aligned}
 & \int_w^e \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial C}{\partial t} dt dx + \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e u \frac{\partial C}{\partial x} dx dt \\
 & = \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx dt + \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e S dx dt \\
 & \Rightarrow (C_p^{n+1} - C_p^n) \Delta x + (u_e^{n+1} C_e^{n+1} - u_w^{n+1} C_w^{n+1}) \Delta t \\
 & = \left[ D_e \left( \frac{C_E^{n+1} - C_p^{n+1}}{dx_e} \right) - D_w \left( \frac{C_p^{n+1} - C_w^{n+1}}{dx_w} \right) \right] \Delta t \\
 & + \bar{S} \Delta x \Delta t
 \end{aligned}$$

با جایگزینی معادلات (3) در معادله (2) داریم:

(3)

$$\begin{aligned}
 u_e^{n+1} C_e^{n+1} & = C_p^{n+1} \max(u_e^{n+1}, 0) \\
 & - C_E^{n+1} \max(-u_e^{n+1}, 0) \\
 u_w^{n+1} C_w^{n+1} & = C_w^{n+1} \max(u_w^{n+1}, 0) \\
 & - C_p^{n+1} \max(-u_w^{n+1}, 0) \\
 a_p C_p^{n+1} & = a_E C_E^{n+1} + a_w C_w^{n+1} + h
 \end{aligned} \quad (4)$$

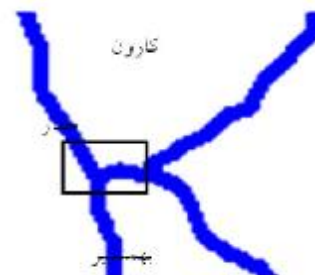
$$\begin{aligned}
 a_p & = \Delta x + \max(u_e^{n+1}, 0) \Delta t + \max(-u_w^{n+1}, 0) \Delta t \\
 & + \frac{D_e}{dx_e} \Delta t + \frac{D_w}{dx_w} \Delta t
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$a_E = \max(-u_e^{n+1}, 0) \Delta t + \frac{D_e}{dx_e} \Delta t \quad (6)$$

$$a_w = \max(u_w^{n+1}, 0) \Delta t + \frac{D_w}{dx_w} \Delta t \quad (7)$$

$$h = C_p^n \Delta x \quad (8)$$

در نقطه انشعاب حجم کنترل بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود:



مدل ریاضی عددی یک بعدی انتقال و انتشار شوری در سیستم کارون، بهمنشیر و ...

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

$$C(x, 0) = 0$$

$$C(0, t) = C_0$$

به منظور بررسی صحت مدل تهیه شده، خروجی مدل با حل تحلیلی معادله انتقال-انتشار برای حالت ساده‌ای که آگاتا و بنکس (1961) ارائه کردند مقایسه می‌شود در این حالت ساده شده فرض می‌شود کانال منشوری به طول 400 متر است و سرعت متوسط در این کانال  $0.3 \text{ m/s}$  و ضریب انتشار  $100 \text{ m}^2/\text{s}$  باشد و نیز غلظت در انتهای کانال  $200 \text{ ppm}$  و غلظت اولیه آب کانال صفر باشد در این شرایط ساده شده نتایج خروجی مدل تهیه شده با حل تحلیلی ارائه می‌شود. با در نظر گرفتن شرایط مرزی و اولیه زیر حل تحلیلی معادله انتقال جرم (آگاتا و بنکس 1961) به صورت زیر است:

$$\Rightarrow C = \frac{C_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ut}{\sqrt{4Dt}}\right) + \exp\left(\frac{xU}{D}\right) * \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ut}{\sqrt{4Dt}}\right) \right\}$$

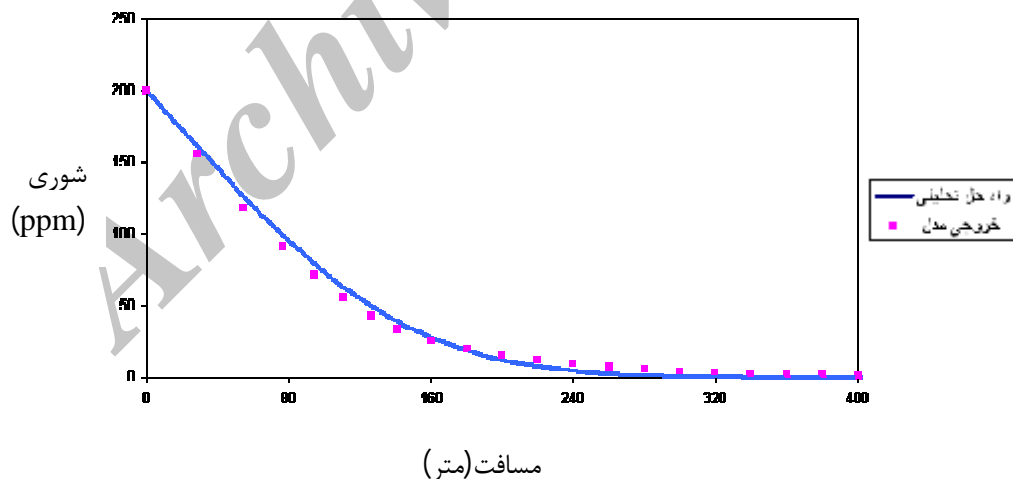
$$t = 0 \rightarrow c = c_f$$

$C_f$  = غلظت شوری آب بالا دست (کارون) می‌باشد که در شرایط بحرانی که دبی رودخانه اروند در بخش عراقی کاهش می‌یابد به 2000 تا 2500 میکروموس بر سانتی-متر می‌رسد.

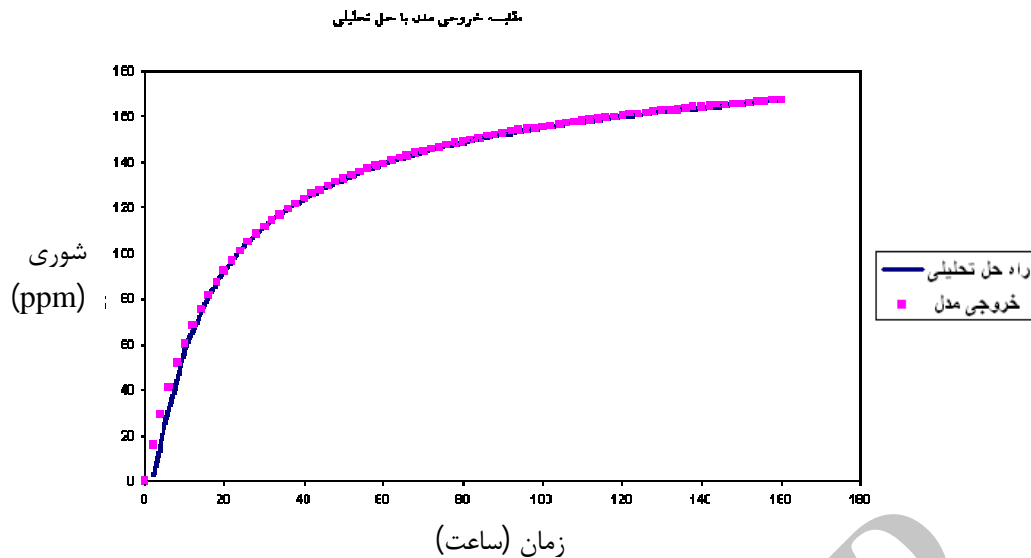
شرط مرزی در دریا:  $c = c_0$

$C_0$  = غلظت شوری در دریا است که در بهمنشیر در شرایط بحرانی که حداکثر مد اتفاق می‌افتد شوری برابر 40000 میکروموس بر سانتی-متر می‌باشد. و همان‌طور که قبلاً گفته شده شرایط بحرانی در اروندرود در شرایطی است که دبی در بخش عراقی اروند کاهش یابد به طوری که اگر دبی به 20 متر مکعب بر ثانیه برسد شوری در انتهای پایین دست رودخانه حفار برابر 6000 میکروموس بر سانتی-متر می‌رسد و اگر دبی به 50 متر مکعب بر ثانیه کاهش یابد شوری برابر 5000 میکروموس بر سانتی-متر خواهد شد.

ضمن این که در فاصله‌ی خیلی دور از دریا غلظت شوری برابر با غلظت آب شیرین بالا دست و غلظت ثابت است به عبارت دیگر:



شکل 7: مقایسه خروجی مدل با حل تحلیلی در زمان ثابت

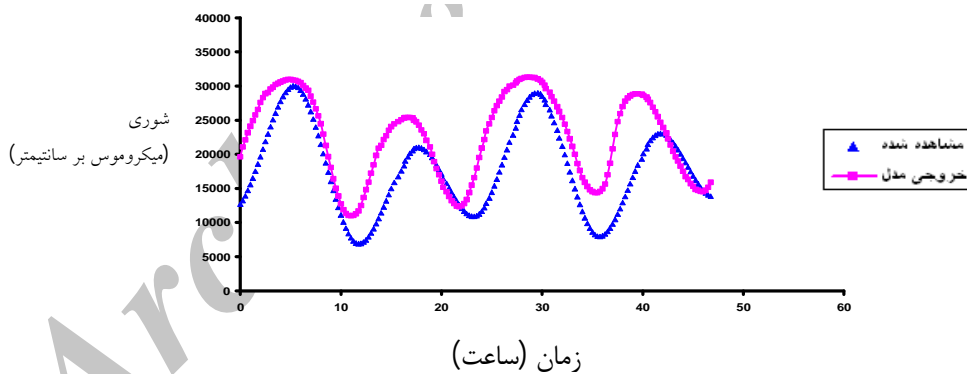


شکل 8: مقایسه خروجی مدل با حل تحلیلی در فاصله 50 متری از ابتدای کانال

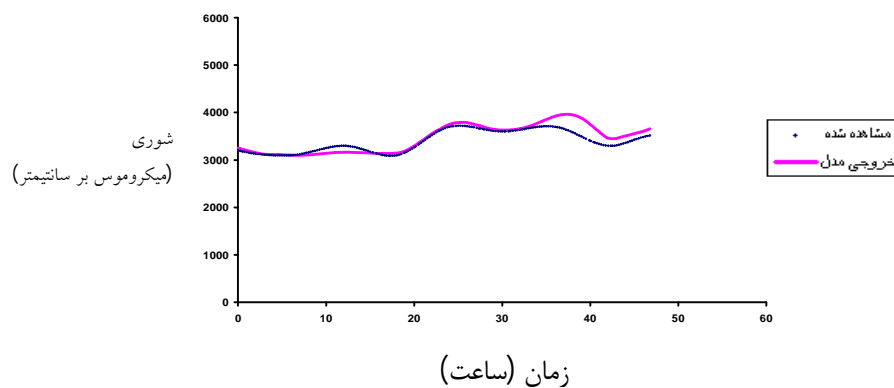
واسنجی شد. که نتایج آن برای دو ایستگاه چوئیده و ایستگاه پل خرمشهر نشان داده شده است.

### واسنجی مدل

به منظور نشان دادن صحت شبیه‌سازی‌های انجام گرفته، مدل عددی تهیه شده برای حفار و بهمنشیر



شکل 9: مقایسه خروجی مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده (رودخانه بهمنشیر، ایستگاه چوئیده)



شکل 10: مقایسه خروجی مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده (رودخانه حفار، ایستگاه پل خرمشهر)

عبوری از بهمنشیر تنظیمی نبوده بدیهی است که با کاهش دبی رودخانه بهمنشیر، امواج جزر و مدی بر شوری آب این رودخانه تأثیر بیشتری خواهد گذارد. در این شرایط مدل تهیه شده به ازای دبی‌های مختلف رودخانه کارون اجرا شده و نتایج حاصل برای دو ایستگاه طره بخاخ و ایستگاه 11 در رودخانه بهمنشیر در جدول (1) نشان داده شده است.

در شرایطی که آب از رودخانه کارون از طریق یک ایستگاه پمپاژ به داخل بهمنشیر پمپ شود شرایط کمی بهتر می‌شود و دبی عبوری از بهمنشیر با کنترل بیشتری خواهد بود. این شرایط بر اساس دبی‌های مختلف پمپاژ به بهمنشیر و شرایط مرزی و اولیه متفاوت در کارون، توسط مدل اجرا شده و نتایج آن در جدول‌ها 1 و 2 نشان داده شده است.

پس از واسنجی ضریب انتشار طولی برای رودخانه کارون  $865 m^2/s$  و برای رودخانه بهمنشیر  $430 m^2/s$  به دست آمد. همچنین در محل مصب به دریا غلظت شوری به علت مومنتم جریان آب مساوی غلظت شوری دریا نخواهد بود بلکه در فاصله B در درون دریا مساوی خواهد شد. به منظور تعیین B، ابتدا گره‌ها را تا فاصله دل‌خواه به درون دریا امتداد می‌دهیم و با اجرای مدل این فاصله را آنقدر تغییر می‌دهیم تا مقادیر شوری به دست آمده در ایستگاه‌های چوئنده و پل خرمشهر به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک شود. در این فرآیند واسنجی، مقدار B برای رودخانه حفار برابر 395 متر و برای رودخانه بهمنشیر  $12/6 km$  به دست می‌آید. همچنین  $\Delta x = 500 m$  و  $\Delta t = 300 sec$  در نظر گرفته شده است. با توجه به این که میزان دبی

جدول 1: وضعیت شوری در ایستگاه 11 و ایستگاه طره بخاخ

دبی رودخانه کارون (مترمکعب بر ثانیه)	شوری در ایستگاه طره بخاخ (میکرو موس بر سانتیمتر)	شوری در ایستگاه 11 (میکرو موس بر سانتیمتر)
50	17741	13500
100	17006	12680
150	15495	11512
200	14610	10600

جدول 2: وضعیت شوری در ایستگاه 11 و ایستگاه طره بخاخ  
(در شرایط اجرای ایستگاه پمپاژ و شوری کارون 2500 میکروموس بر سانتی متر)

دبی پمپاژ (مترمکعب بر ثانیه)	شوری در ایستگاه طره بخاخ (میکرو موس بر سانتی متر)	شوری در ایستگاه 11 (میکرو موس بر سانتی متر)
	متوسط روزانه	متوسط روزانه
10	11580	8238
20	8924	5650
30	6820	4458
40	4763	3510
50	3750	2760

در رودخانه بهمنشیر از طریق ایستگاه طره بخاخ (به منظور تأمین آب کشاورزی) و ایستگاه 11 (به منظور



تنظیمی بوده و بر حسب نیازهای تعریف شده تحقق پیدا خواهد کرد. در این شرایط نیز مدل تهیه شده اجرا شده که نتایج آن در جدول های 3، 4 و 5 آمده است. چنانچه در این شرایط دبی برداشت از رودخانه بهممنشیر در محل ایستگاه پمپاژ طره بخاخ 45 متر مکعب بر ثانیه باشد مقادیر شوری به صورت جدول 6 خواهد بود.

تأمین آب شرب) مقداری از آب رودخانه برداشت می شود. چنانچه میزان برداشت آب از ایستگاه طره بخاخ و ایستگاه 11 به ترتیب 40 و 5 متر مکعب بر ثانیه باشد، مدل تهیه شده به ازای دبی های مختلف پمپاژ اجرا شده که نتایج آن در جدول 3 آمده است.

حال چنانچه به منظور جلوگیری از ورود شوری از رودخانه حفار به داخل رودخانه بهممنشیر، سدی در مدخل بهممنشیر احداث شود و آب رودخانه کارون به داخل بهممنشیر پمپاژ شود میزان دبی عبوری از بهممنشیر

جدول 3: وضعیت شوری در ایستگاه 11 و ایستگاه طره بخاخ

(در شرایط اجرای ایستگاه پمپاژ و برداشت آب از ایستگاه های مذکور، شوری کارون 2500 میکروموس بر سانتی متر)

دبی پمپاژ (مترمکعب بر ثانیه)	شوری در ایستگاه 11 (میکرو موس بر سانتی متر) متوسط روزانه	شوری در ایستگاه طره بخاخ (میکرو موس بر سانتی متر) متوسط روزانه
10	9874	12791
20	7340	10360
30	6235	8190
40	5980	6700
50	4584	4960
60	3172	3620
70	2500	2664

جدول 4: وضعیت شوری در آبگیر خرمشهر

(شوری کارون 2500 میکروموس بر سانتی متر و دبی بحرانی در ارونند 50 متر مکعب بر ثانیه)

شوری ارونند (پس از تلاقی کاون) معادل 5000 میکروموس بر سانتی متر

شرایط مرزی پایین دست	شوری در خرمشهر (میکروموس بر سانتی متر) متوسط روزانه	دبی در کارون (مترمکعب بر ثانیه)
	3567	100
	3422	120
شرایط دبی 50 مترمکعب در ثانیه در ارونند قبل از الحاق حفار	3274	140
	3079	160
	3003	180
	2725	200

جدول 5: وضعیت شوری در آبگیر خرمشهر  
(شوری کارون 2500 میکروموس بر سانتی‌متر و دبی بحرانی در ارونند 20 متر مکعب بر ثانیه)  
شوری ارونند (پس از تلاقی کارون) معادل 6000 میکروموس بر سانتی‌متر

شرایط مرزی پایین دست	شوری در خرمشهر (میکروموس بر سانتی‌متر) متوسط روزانه	دبی در کارون (مترمکعب بر ثانیه)
	4054	100
	3825	120
شرایط دبی 20 مترمکعب در ثانیه در ارونند قبل از الحاق حفار	3564	140
	3480	160
	3249	180
	3017	200

جدول 6: وضعیت شوری در ایستگاه 11 و ایستگاه طره بخاخ  
(شوری کارون 2500 میکروموس بر سانتی‌متر)

شوری در ایستگاه 11 (میکروموس بر سانتی‌متر) متوسط روزانه	شوری در ایستگاه طره بخاخ (میکروموس بر سانتی‌متر) متوسط روزانه	دبی پمپاژ (مترمکعب بر ثانیه)
6130	8560	10
4550	6520	20
3300	4360	30
2720	3280	40
2500	2830	50

### نتیجه‌گیری

احداث سد در مدخل بهمنشیر و برداشت دبی 45 متر مکعب بر ثانیه برابر 2500 میکروموس بر سانتی‌متر خواهد بود. در این شرایط و با فرض شوری 2500 میکروموس بر سانتی‌متر برای آب پمپ شده، میزان شوری در طره بخاخ (محل آبگیر کشاورزی) در حدود 2664 میکروموس بر سانتی‌متر برآورد شده است که برای کشت نخیلات قابل قبول است.

هم‌چنین در شرایط احداث سد در مدخل بهمنشیر چنان‌چه دبی پمپاژ 50 متر مکعب بر ثانیه باشد و دبی برداشت آب از ایستگاه‌های طره بخاخ و 11 برابر 45 متر مکعب بر ثانیه باشد با فرض شوری 2500 میکروموس بر سانتی‌متر برای آب پمپ شده، میزان شوری در طره بخاخ در حدود 2830 میکروموس بر سانتی‌متر و برای ایستگاه 11 در حدود 2500 میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

در این مقاله برای بررسی تغییرات شوری در رودخانه‌های جزر و مدی با استفاده از معادله انتقال جرم حاکم، از یک روش عددی مناسب استفاده شده است. شرایط هیدرولیکی با استفاده از مدل HEC-RAS تعیین گردیده است. مدل تهیه شده در رودخانه شاخه‌ای کارون-حفار- بهمنشیر اجرا گردیده است.

این مطالعه نشان می‌دهد در شرایطی که جریان در بخش عراقی ارونند به حدود 50 متر مکعب در ثانیه کاهش یابد برای حفظ شوری در محل آبگیر خرمشهر به میزان 3000 میکروموس بر سانتی‌متر لازم است که جریانی در حدود 180 متر مکعب در ثانیه وجود داشته باشد.

چنان‌چه دبی پمپاژ از کارون به بهمنشیر 70 متر مکعب در ثانیه باشد شوری آب رودخانه بهمنشیر در محل ایستگاه 11 (آبگیر شرب آبادان) در شرایط عدم

## منابع

طرح ساماندهی آبراهه کارون، جلد 1-7، قسمت دوم، مطالعات مرحله اول: گزارش کیفیت آب، سازمان آب و برق خوزستان، آبان ماه 1380.

- Adams, E. E. and Koussis, A. D. 1980. Transient Analysis for Shallow Cooling Ponds. J. Energy Div., ASCE, 106(2), 141-153
- Admiralty Tide Tables. Vol. 3, 1999. the United Kingdom Hydrologic Office.
- Barry, D. A. and Sposito, G. 1989. Analytical Solution of a Convection-Dispersion Model with Time-Dependent Transport Coefficients,
- Basha, H. A. and El-Habel, F. S. 1993. Analytical solution of the One-dimensional time-dependent transport equation. Water Resource. Res. 29, 3209-3214.
- Fischer, H. B., List, E. J. and Brooks, N. H. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, Inc., New York, N.Y.
- Galperin, B., Kantha, L. H., Hassid, S. and Rosati, A. 1988. A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows. J. Atmospheric Sci. 45:55-62
- HEC-RAS Software Package. 2002. U.S. Army Corps of Engineers. Version 3.1
- Ketchum, D. A., 1951. The Flushing tidal estuaries. Sewage and Industrial Wastes, 23:189-209
- Kossik, R. F., Gschwend, P.S. And Adams, E. E. 1986. Tracing and Modeling Pollutant Transport in Boston Harbor, Rep. No. MITSG 86-16 MIT Sea Grant College Program, Cambridge
- Krenkel, P. A. and Novotny, V. 1980. Water Quality Management. Academic press, New York.
- Patankar, S. V. 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Pub. Corp.
- Philips, J. R. 1994. Some exact solutions of convection-diffusion and Diffusion equations. Water Resource. Res. 30-12, 3545-3551

Archive of SID

## A One-dimensional Numerical Model of Advection and Diffusion of Salinity in Karun-Bahmanshir and Hafar System in Tidal Conditions

Samani<sup>1</sup>, H. M. V., Vahabian<sup>2</sup>, M., Azizi mobaser<sup>3</sup>, J.

### Abstract

Salinity analysis in tidal rivers is generally more complex than normal rivers. The reason of this complexity is tides that occur in sea which in this term affect rivers connected to sea or ocean. Salinity front moves toward the river at high tide duration and vice versa at low tide duration. This is the main reason of mixing of saline and fresh water along the river.

In this paper the differential equation of salinity mass transfer and saint-venant equations are solved for tidal conditions using the finite difference control volume method. To demonstrate the ability of the developed model a real case conditions Karun-Bahmanshir and Hafar branches was modeled and salinity of this branches was predicted. Results indicate that salinity in Bahmanshir can be reduced by increasing discharge of fresh water in the artificial channel connecting Karun and Bahmanshir.

**Keywords:** Numerical model, Salinity intrusion, Karun-Bahmanshir and Hafar system

Archive of SID

---

1. Professor of civil engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.

2. M.Sc. Student, faculty of engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.

3. P.hd. Student, faculty of water resources engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.