



مرکز پژوهش‌های مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



## ارزیابی روش کنترل و نتوری در کنترل نفوذ شوری در خور رودخانه ای اروند

امیرادهم صبوری<sup>۱</sup> و امیر فرشاد اعتماد شهیدی<sup>۲</sup>  
دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران

[asaboori@civileng.iust.ac.ir](mailto:asaboori@civileng.iust.ac.ir)<sup>۱</sup>

[etemad@iust.ac.ir](mailto:etemad@iust.ac.ir)<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از مسائل مهم در سیستم خورهای رودخانه ای اندرکنش آب شیرین رودخانه ها و آب شور دریا می باشد. نفوذ آب شور به رودخانه ها بر روی کیفیت آب آنها که برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می گیرد موثر است. محققین در نقاط مختلف دنیا راهکارهای گوناگونی را برای کنترل این پدیده طبیعی معرفی نموده اند. روش کنترل و نتوری، بکارگیری بند موقت، بکارگیری پرده هوا یا سدهای درپچه دار از انواع این راهکارها هستند. در این تحقیق میزان کارایی روش کنترل و نتوری در کنترل پدیده نفوذ شوری در خور رودخانه ای اروند مورد بررسی قرار گرفته است. این کار برای سه دبی مختلف رودخانه، دبی ۱۰۴۰ مترمکعب بر ثانیه (دبی متوسط سالانه)، دبی ۵۲۰ مترمکعب بر ثانیه (دبی حداقل سالانه) و دبی ۲۶۰ مترمکعب بر ثانیه (یک دبی حداقل فرضی) صورت گرفته است. برای ارزیابی کارایی روش مورد نظر از یک مدل عددی دو بعدی متوسط گیری شده در جهت عرض به نام CE-QUAL-W2 استفاده شده است. در پایان، نتایج حاکی از عملکرد مناسب روش کنترل و نتوری در کاهش طول نفوذ شوری بوده است.

### مقدمه

خورهای رودخانه ای به عنوان یکی از زیستگاههای آبی حساس در برابر آلودگی مورد توجه بسیار می باشند. یکی از عوامل موثر در تغییر کیفیت آب خورهای رودخانه ای پدیده نفوذ شوری به بالادست در اثر تغییرات هیدرولیک جریان می باشد. افزایش شوری آب در بالادست نه تنها موجب کاهش کیفیت آب سطحی چه به منظور مصارف صنعتی و چه به منظور مصارف کشاورزی می شود، بلکه می تواند کیفیت منابع آب زیرزمینی را نیز به مخاطره اندازد (Dyer 1973). رودخانه اروند در جنوب ایران نیز از جمله رودخانه هایی است که کیفیت آب در آن طی دهه های اخیر بدلیل نفوذ شوری به شدت کاهش یافته است. لذا پیش بینی و بررسی پدیده نفوذ شوری در این رودخانه به دلیل موقعیت استراتژیک آن و بعنوان یکی از منابع آب جنوب کشور دارای اهمیت بسیار زیادی می باشد. یکی از راهکارهای مناسب برای پیش بینی نفوذ شوری در خورهای رودخانه ای بکارگیری مدل های عددی می باشد. اولین بار محاسبات پیشروی شوری در خور رودخانه ای اروند بر اساس نتوری نفوذ شوری هارلمن به انجام رسید (Sweco 1976) و دو برنامه کامپیوتری پیشروی شوری تهیه گردید. اولین برنامه، ضرایب انتشار شوری و برنامه دوم (با استفاده از ضرایب محاسبه شده) تغییرات شوری را در طول رودخانه (یک بعدی) پیش بینی می کرد. در محاسبات کامپیوتری، هندسه مدل به صورت یک کانال مستطیلی یکنواخت به عرض ۷۰۰ متر و عمق ۸ متر وارد گردید. مدل مذکور به علت فرضیات یک بعدی بودن و سطح مقطع یکنواخت، مدل دقیقی برای پیش بینی شوری بخصوص در حالت لایه ای نبود. زاهد و همکاران (۱۳۸۳) با بکارگیری نسخه ۳ مدل CE-QUAL-W2 و با استفاده از مدل های لزجت گردابی قائم W2N، RNG و شبیه سازی پدیده نفوذ شوری در رودخانه اروند پرداختند که در نهایت، نتایج حاکی از عملکرد مناسبتر مدل W2N در مقایسه با سایر مدل های ذکر شده بود. در مقاله حاضر، در ابتدا شبیه سازی شوری در خور رودخانه ای اروند با استفاده از آخرین نسخه در دسترس مدل CE-QUAL-W2 (نسخه ۳/۵) و با وارد کردن هندسه واقعی رودخانه برای دو حالت جریان آمیخته و لایه ای انجام گرفته است و سپس میزان کارایی روش کنترل و نتوری با شبیه سازی ۳ سناریوی کاهش عرض، کاهش عمق و کاهش همزمان این دو پارامتر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### شرح مدل ریاضی

در این تحقیق از نسخه ۳/۵ مدل عددی CE-QUAL-W2 جهت پیش بینی و شبیه سازی هیدرودینامیک و شوری رودخانه اروند استفاده شده است. CE-QUAL-W2 یک برنامه مدلسازی هیدرودینامیک و کیفیت آب به صورت دو بعدی (متوسط گیری در جهت عرض) می باشد که

توسط واحد مطالعات آبراهه های مهندسين ارتش آمریکا در سال ۱۹۹۵ تهیه شده است (Cole & Wells, 2001). حل معادلات میانگین عرضی بر اساس روش حل تفاضل محدود می باشد. کاربردهای این برنامه شامل مدلسازی طولانی مدت و متغیر زمانی کیفیت آبهای سطحی نظیر دریاچه ها، مخازن و خورهای رودخانه ای می باشد و برای مدلسازی خورهای رودخانه ای کم عرض مناسب می باشد. CE-QUAL-W2 دارای قابلیت های زیادی از جمله شبیه سازی هیدرودینامیک سازه های آبی (لوله، پمپ، سرریز، دریچه) و همچنین شبیه سازی مسائل کیفی مختلف (مانند: ردیاب پایستار، کلیفرم، CBOD، جلبک، اکسیژن محلول، نیترات-نیتريت، فسفر آلی، گازهای محلول، آهن و ...) است.

### معادلات بخش هیدرودینامیک

در این بخش معادلات حاکم عبارتند از: معادله پیوستگی (معادله سطح آزاد آب) و معادله اندازه حرکت افقی و قائم. معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (1)$$

که  $x$  و  $z$  مختصات افقی و قائم،  $B$  عرض،  $U$  سرعت افقی میانگین عرضی،  $W$  سرعت قائم میانگین عرضی و  $q$  شار خالص بر واحد حجم سلول می باشند.

معادله اندازه حرکت در جهت  $x$ :

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = gB \sin \alpha - \frac{B}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B\tau_{xz}}{\partial z} \quad (2)$$

که  $\rho$  چگالی آب،  $t$  زمان،  $\alpha$  شیب کف پیکره آبی می باشند و  $\tau_{xx}$  تنش برشی آشفته است که بر وجه  $x$  حجم کنترل و در جهت  $x$  اعمال می شود و  $\tau_{xz}$  تنش برشی آشفته است که بر وجه  $z$  حجم کنترل و در جهت  $x$  اعمال می شود (تنش برشی بین لایه ای).

معادله اندازه حرکت در جهت  $Z$ :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = g \cos \alpha \quad (3)$$

معادله (۳)، معادله فشار هیدرواستاتیک می باشد.

معادله سطح آزاد آب:

$$B_\eta \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int_\eta^h UB dz - \int_\eta^h qB dz \quad (4)$$

این معادله فرم ساده شده معادله پیوستگی می باشد.  $B_\eta$ ، عرض در سطح آب می باشد.

### معادلات بخش پهن رفت-پخشیدگی

معادله دو بعدی بقاء جرم ماده محلول یا به عبارتی معادله دو بعدی پهن رفت-پخشیدگی عبارتست از:

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t} + \frac{\partial UB\Phi}{\partial x} + \frac{\partial WB\Phi}{\partial z} - \frac{\partial \left( BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)}{\partial x} - \frac{\partial \left( BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)}{\partial z} = q_\Phi B + S_\Phi B \quad (5)$$

$\Phi$  = میانگین عرضی غلظت ماده ( $g/m^3$ ).  $\Phi$  می تواند غلظت یا حرارت باشد. حرارت به صورت  $\rho C_p T$  تعریف می شود که  $\rho$  معادل چگالی سیال،  $C_p$  گرمای ویژه آب و  $T$  درجه حرارت می باشد. بنابراین با جایگذاری  $C$  یا  $\rho C_p T$  بجای  $\Phi$  بترتیب معادلات حاکم بر غلظت یا حرارت حاصل می شوند.  $D_x$  ضریب پخش طولی حرارت و ماده  $D_z$ ،  $m^2/s$ ، ضریب پخش قائم حرارت و ماده  $D_\Phi$ ،  $m^2/s$ ، نرخ جریان ورودی یا خروجی ماده از واحد حجم  $g/m^3 \cdot s$  و  $S_\Phi$  = جمله میانگین عرضی چشمه / چاه  $g/m^3 \cdot s$  می باشد.

### مدلهای محاسبه لزجت گردابی قائم

کاربر می بایست مدل مناسب برای تعیین لزجت گردابی قائم ( $\nu_i$ ) را انتخاب کند. در جدول ۱ مدل های محاسبه لزجت گردابی قائم ارائه شده اند. همانگونه که قبلا بیان شد مدل K-ε در نسخه ۳/۵ به برنامه اضافه شده است.

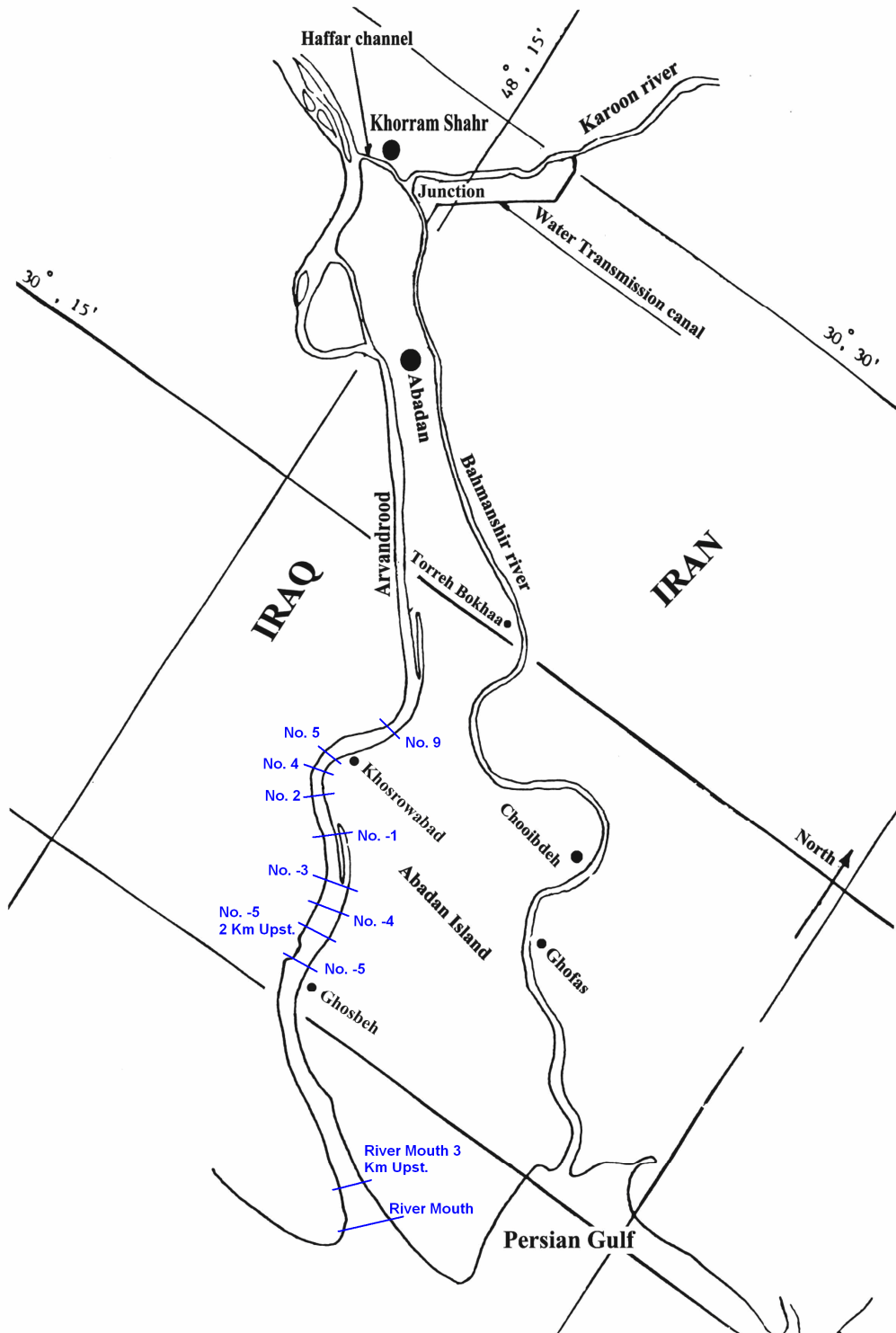
جدول ۱ مدل‌های محاسبه لزجت گردابی قائم

مدل	رابطه	مرجع
W2N (With mixing length of Nickuradse)	$v_t = k \left( \frac{l_m^2}{2} \right) \sqrt{\left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{wy} e^{-2mz}}{\rho v_t} \right)^2} e^{(-CRi)}$ $l_m = H \left[ 0.14 - 0.08 \left( 1 - \frac{z}{H} \right)^2 + 0.06 \left( 1 - \frac{z}{H} \right)^4 \right]$	Cole & Buchak(1995) & Rodi (1993)
RNG (Renormalization group)	$v_t = v \left[ 1 + \Psi \left( 3k \left( \frac{zu_*}{v} \right)^3 \left( 1 - \frac{z}{H} \right)^3 - C_1 \right) \right]^{1/3} e^{-CRi}$	Simoes(1998)
TKE(Turbulent Kinetic Energy)	$v_t = C_\mu \frac{K^2}{\epsilon}$ <p>Where K and <math>\epsilon</math> are defined from</p> $\frac{\partial KB}{\partial t} + \frac{\partial KBU}{\partial x} + \frac{\partial KBW}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( B \frac{v_t}{\sigma_K} \frac{\partial K}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( B \frac{v_t}{\sigma_K} \frac{\partial K}{\partial x} \right) = B(P + G - \epsilon + P_K)$ $\frac{\partial \epsilon B}{\partial t} + \frac{\partial \epsilon BU}{\partial x} + \frac{\partial \epsilon BW}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left( B \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( B \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) = B \left( C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{K} P + C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{K} + P_\epsilon \right)$	

که  $l_m$ : طول اختلاط،  $Z$ : مختصات قائم،  $H$ : عمق،  $u$ : سرعت افقی،  $Ri$ : عدد ریچاردسون،  $m$ : عدد باد  $C$ : ثابت (مفروض  $0/15$ )،  $u_*$ : سرعت برشی،  $K$ : ثابت فون-کارمن،  $\tau_{wy}$ : برش عرضی باد،  $k$ : عدد موج،  $\rho$ : چگالی سیال،  $\Psi(x) = \max(0, x)$ ،  $\nu$ : لزجت مولکولی،  $C_1$ : ثابت تجربی (مفروض ۱۰۰)

### معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه اروند رودخانه ای دائمی است که در حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان واقع است. طول بخش مرزی آن ۸۴ کیلومتر و طول سراسری آن حدود ۱۹۰ کیلومتر است. اروند رود از تلاقی رودخانه دجله و فرات در بالا دست بصره تشکیل می گردد. مسیر کلی رودخانه اروند جنوب شرقی و شیب متوسط آن صفر می باشد. رودخانه اروند از محل القرنه رو بسوی جنوب غربی از کنار شهر بصره می گذرد و در نقطه ای به مختصات طولی حدود ۴۸ درجه و ۶ دقیقه و عرضی حدود ۳۰ درجه و ۲۷ دقیقه به مرز ایران و عراق وارد می گردد. این رودخانه در شهر خرمشهر با شاخه غربی رود کارون مخلوط می گردد و شهرستانهای خرمشهر و آبادان را طی می کند و در هشت کیلومتری جنوب اروند کنار به خلیج فارس می ریزد.



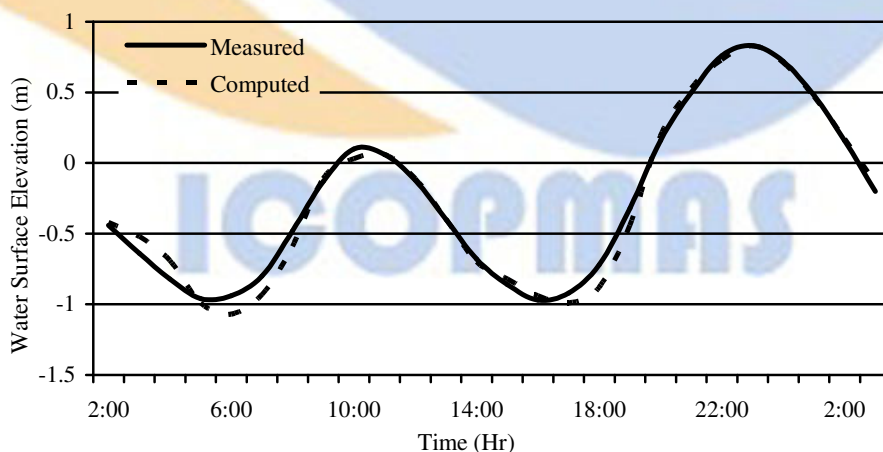
شکل ۱ موقعیت رودخانه اروندر و ایستگاههای مربوطه

منطقه مورد مطالعه، بخشی از رودخانه اروند در بازه آبادان تا خلیج فارس به طول ۷۴ کیلومتر می باشد. در محدوده مورد مطالعه، حداکثر عمق رودخانه برابر ۲۵ متر و حداقل آن برابر ۱۲ متر می باشد. عرض دهانه رودخانه ۲۳۰۰ متر می باشد. متوسط تغییرات جزر و مد در دهانه رودخانه برابر ۳ متر بوده و بدین جهت خور رودخانه ای اروند به لحاظ طبقه بندی جزر و مد در دسته خورهای Mesotidal قرار می گیرد. به لحاظ طبقه بندی شوری، خور رودخانه ای اروند در دسته خورهای رودخانه ای با اختلاط ناقص قرار می گیرد. در شکل ۱، منطقه مورد مطالعه در بازه آبادان - خلیج فارس به همراه ایستگاههای اندازه گیری شوری نشان داده شده است. در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی آبادان، خسرو آباد در کنار رودخانه اروند رود واقع شده است. در ۲۰ کیلومتری جنوب خسرو آباد مرکز بخش قصبه (اروند کنار) در کنار رودخانه اروند رود واقع شده است. فعالیت های کشاورزی در تمام مسیر سواحل رودخانه دیده می شود که قسمت اعظم آن را نخلستانها تشکیل می دهند. بزرگترین منطقه کشاورزی در قصبه واقع شده است. قسمت میانی جزیره آبادان بصورت صحرا و قسمتهای شرقی آن اکثرا بصورت اراضی باتلاقی می باشد. از سال ۱۹۲۵ پیشروی آب شور در اروند رود و بهممنشیر متناوبا مشاهده شده است. آب رودخانه به مصرف آبیاری نخلهای خرما در سواحل رودخانه و پالایشگاه نفت آبادان، شهر آبادان و خرمشهر می رسد. پیشروی آب شور خلیج فارس از سال ۱۹۷۶ تاکنون به درختان خرما که در نزدیکی خلیج فارس قرار دارند (ناحیه قصبه) و گاهی تا نزدیکی محل آبیگر پالایشگاه آبادان اثرات نامطلوب می گذارد (Sweco 1976).

### واسنجی و صحت سنجی مدل

جهت شبیه سازی هیدرودینامیک خور رودخانه ای اروند، بازه آبادان - خلیج فارس طول رودخانه به ۴۳ المان با طول متوسط ۱۸۳۰ متر تقسیم شده و عمق متوسط لایه ها ۱ متر تعریف شده است. در عمیق ترین نقطه رودخانه تعداد لایه ها به ۲۵ می رسد. در مورد گام زمانی، ذکر این موضوع حائز اهمیت است که مدل دارای الگوریتم محاسبه خودکار گام زمانی بوده و تنها نیاز به تعیین گام زمانی بیشینه می باشد. شیوه انتخاب بیشینه گام زمانی بدین شکل بوده که با انتخاب گام زمانی در محدوده ۱ تا ۵۰۰ ثانیه جوابهای مدل بررسی شده است و بر طبق مشاهدات انجام شده با انتخاب گام زمانی کمتر از ۲۰ ثانیه تغییرات جوابهای مدل کاملا ناچیز بوده است. بدین ترتیب گام زمانی بیشینه برابر ۲۰ ثانیه انتخاب گردیده است.

۱- واسنجی هیدرودینامیک: در این بخش به منظور واسنجی مدل از ترازهای سطح آب اندازه گیری شده در آبادان و قصبه برای روزهای ۹ و ۱۰ دسامبر ۱۹۷۴ به عنوان شرایط مرزی بالادست و پایین دست استفاده شده است. به منظور دستیابی به ضریب زبری مانینگ بهینه، مقادیر تراز سطح آب محاسبه شده توسط مدل با مقادیر اندازه گیری شده متناظر در ایستگاه خسروآباد در روزهای ذکر شده مقایسه شده است. که کمترین میزان خطا برابر ۰/۰۵۳۵ متر به ازای ضریب زبری مانینگ ۰/۰۲۲ بدست آمده و این مقدار بیان گر عملکرد مناسب مدل می باشد. در نمودار ۱ مقادیر تراز سطح آب اندازه گیری و محاسبه شده توسط مدل با یکدیگر مقایسه شده است.



نمودار ۱ ترازهای آب اندازه گیری شده و محاسبه شده برای خسروآباد در تاریخ ۱۹۷۴/۱۲/۹ و ۱۰

۲- واسنجی مدول کیفیت آب: در این بخش به منظور بدست آوردن ضریب پخش طولی بهینه و همچنین انتخاب الگوریتم مناسب برای محاسبه لزجت گردابی قائم، از دو نیمرخ شوری اندازه گیری شده مربوط به روزهای ۱۵/۹/۱۹۷۴ و ۲/۶/۱۹۷۵، اندازه گیری شده به ترتیب در ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۹ و قصبه (محل تقریبی قرارگیری ایستگاهها در شکل ۱ نشان داده شده است) استفاده شده است که این نیمرخ ها هر دو حالت

جریان شوری آمیخته و لایه ای را در بر می گیرد. شرایط مرزی بکار گرفته شده شامل ترازهای سطح آب برای دو روز ذکر شده برای ایستگاههای آبادان و خلیج فارس بوده است. میزان شوری مرز آبادان در بالادست، برابر ۱/۲ ppt و برای خلیج فارس برابر ۳۸ ppt در نظر گرفته شده است. به منظور انتخاب الگوریتم مناسب جهت محاسبه لزجت گردابی قائم، ۳ الگوریتم K-ε، W2N و RNG مورد مقایسه قرار گرفته اند. الگوریتم K-ε در نسخه جدید مدل به آن اضافه شده است و الگوریتم W2N بر اساس تحقیقات گذشته، مناسب ترین الگوریتم محاسبه لزجت گردابی قائم بوده است زاهد و همکاران (۱۳۸۳). الگوریتم RNG نیز در کنار دو مدل دیگر به صورت جنبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت ضریب پخش طولی برابر ۲۰ متر مربع بر ثانیه انتخاب گردیده است.

جدول ۲ مقادیر خطا در ساعت ۱۳:۱۵ روز ۱۹۷۴/۹/۱۵ در ایستگاه شماره ۹

Absolute Mean Error (ppt)			Round Mean Square Error (ppt)			Scatter Index		
K-ε	W2N	RNG	K-ε	W2N	RNG	K-ε	W2N	RNG
0.215	1.876	3.313	0.061	3.601	11.002	0.01	0.637	1.947

جدول ۳ مقادیر خطا در ساعت ۲۰:۰۰ روز ۱۹۷۵/۲/۶ در قصبه

Absolute Mean Error (ppt)			Round Mean Square Error (ppt)			Scatter Index		
K-ε	W2N	RNG	K-ε	W2N	RNG	K-ε	W2N	RNG
0.948	2.876	3.396	1.335	9.981	19.339	0.069	0.519	1.005

جدول ۲ نتایج الگوریتمهای مختلف را در پیش بینی طول نفوذ شوری برای جریان در حالت آمیخته نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود بهترین عملکرد مربوط به الگوریتم K-ε بوده که با خطای میانگین ppt ۰/۲۱۵، خطای جزر میانگین مربعات ۰/۰۶۱ و اندیس پراکندگی ۰/۰۱، جوابهای قابل قبولی داشته است. جدول ۳ نیز نتایج مربوط به الگوریتمهای مختلف را برای جریان لایه ای نمایش می دهد. در این حالت نیز بهترین عملکرد مربوط به الگوریتم K-ε بوده با خطای میانگین ppt ۰/۹۴۸، خطای جزر میانگین مربعات ۱/۳۳۵ و اندیس پراکندگی ۰/۰۶۹ که حاکی از عملکرد مناسب مدل بوده است. به منظور صحت سنجی مدل واسنجی شده از ۱۲ نیمرخ شوری مختلف، اندازه گیری شده در ایستگاههای مختلف رودخانه استفاده شده است که خلاصه ای از نتایج این مرحله در جدول ۴ آمده و همانگونه مشاهده می شود مدل K-ε دارای عملکرد مناسبی بوده است.

جدول ۴ مقایسه دقت الگوریتمهای مختلف در پیش بینی نفوذ شوری برای دو حالت جریان شوری آمیخته و لایه ای

	Mixed flow			Stratified Flow		
	AME	RMSE	SI	AME	RMSE	SI
K-ε	0.1649	0.0448	0.0175	0.544	0.559	0.065
W2N	0.5943	0.9436	0.2996	1.563	4.289	0.539
RNG	2.4973	16.9873	10.682	5.078	62.972	14.948

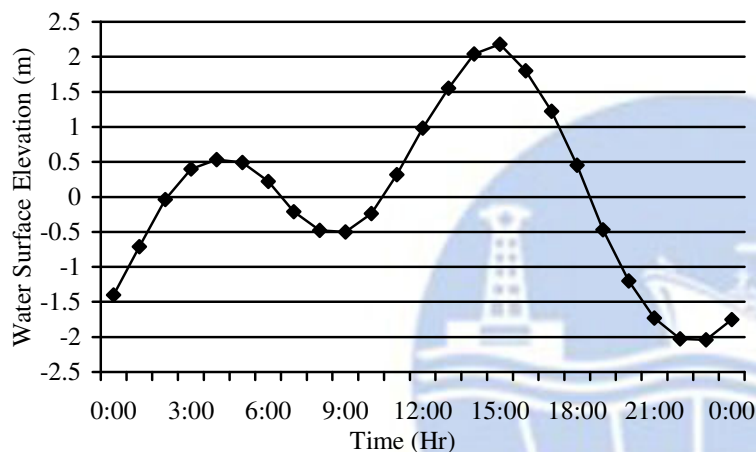
### ارزیابی روش کنترل و توری

در پایان، مدل واسنجی شده برای ارزیابی میزان کارایی روش کنترل و توری بکار گرفته شده است. در روش کنترل و توری همانگونه که از نام آن مشخص است، یک تنگ شدگی یا به عبارتی یک گلوگاه در بخشی از کانال به وجود می آید و بنابراین با ایجاد این و توری سرعتها در کانال افزایش یافته و گرادیان فشار خارجی بر روی جریان آب کاهش می یابد. نتیجه این امر آن است که عدد فرود در محل تنگ شدگی افزایش یافته و از مقدار بحرانی آن برای محدود کردن پیشروی گوه شوری بیشتر خواهد شد. بدین وسیله ممکن است بتوان حرکت گوه شوری را تا حدودی محدود

نمود. از دلایل انتخاب روش کنترل و تئوری می توان به این نکته اشاره کرد که اولاً اجرای این روش دارای پیچیدگیهای کمتری در مقایسه با برخی روشهای سازه ای می باشد و نیازمند بکارگیری تکنولوژی پیچیده ای نیست. نکته دیگر اینکه هزینه های بکارگیری آن در مقایسه با برخی روشهای سازه ای نسبتاً پایین تر است. همچنین با توجه به اینکه در این روش مسیر جریان آب بین بالادست و پایین دست بطور کامل قطع نمی شود نسبت به روشهایی که مسیر جریان رودخانه را بطور کامل مسدود می کنند، مشکلات کمتری در زمینه کشتیرانی و نیز آلودگیهای زیست محیطی بوجود خواهد آمد.

اما شرایط مرزی بکارگرفته شده برای ارزیابی برنامه های کنترل نفوذ شوری به شرح زیر می باشد:

۱- تراز آب پایین دست بر مبنای شدیدترین تغییرات جزر و مدی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ طبق داده های سازمان نقشه برداری کشور برای دهانه خلیج فارس انتخاب گردیده است (نمودار ۲):



نمودار ۲ تراز آب انتخابی برای پایین دست در شبیه سازی راهکارهای کنترل نفوذ شوری

۲- دبی آب رودخانه در بالادست برابر ۳ مقدار ۱۰۴۰ ، ۵۲۰ و ۲۴۰ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

۳- شوری در پایین دست رودخانه برابر ۳۸ ppt و در بالادست برابر ۱/۲ ppt در نظر گرفته شده است. شرایط اولیه شوری به مقدار ۱۰ ppt در نظر گرفته شده است (شرایط اولیه شوری تاثیری در جوابهای مدل نداشته است). طول نفوذ شوری بر مبنای میزان پیشروی شوری Van der Tuin (1987) تعیین شده است. این روش در سه بخش مجزای کاهش عرض، کاهش عمق و کاهش همزمان این دو پارامتر مورد ارزیابی قرار گرفته که در ذیل آمده است.

۱- روش کاهش عمق: این روش با بکارگیری ۶ راهکار کاهش عمق به شکل کاهش عمق تا ۱۴ متر، ۱۲ متر، ۱۰ متر، ۸ متر، ۶ متر و ۴ متر مورد بررسی قرار گرفته است. هر یک از این راهکارها برای ۴ منطقه بکار گرفته شده اند: الف) دهانه رودخانه (عمق و عرض اولیه: ۱۹ و ۲۳۰۰) ب) ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه (عمق و عرض اولیه: ۱۷ و ۱۸۰۰) ج) ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۵- (عمق و عرض اولیه: ۱۲ و ۱۲۰۰) د) ۳ کیلومتر بالادست ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۵- (عمق و عرض اولیه: ۱۲ و ۱۲۰۰). گزینه های ۱ و ۲ همانگونه که مشخص است بدلیل قرار گیری در نزدیکی دهانه رودخانه استفاده شده است. منطقه قرارگیری گزینه های ۳ و ۴ بطور طبیعی عمق کمتری نسبت به نقاط قبل از خود داشته و همانند یک دیواره پس از یک ناحیه با عمق زیاد قرار دارند و بنابراین در شرایط طبیعی آب شور در پشت این دیواره به تله می افتد. با کاهش عمق این نقاط، این عملکرد تشدید می شود. نتایج حاکی از آن بوده بکارگیری روش کاهش عمق در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه بهترین عملکرد را داشته است (جدول ۵).



جدول ۵ نتایج بکارگیری روش کاهش عمق در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه اروند

کاهش عمق در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه						
میزان کاهش عمق	دبی ۱۰۴۰ m <sup>3</sup> /s		دبی ۵۲۰ m <sup>3</sup> /s		دبی ۲۶۰ m <sup>3</sup> /s	
	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ
حالت پایه	۲۹/۸	—	۵۷/۵	—	۵۷/۵	—
تا ۱۴ متر	۲۷/۷	۷	۵۴/۷۹	۴/۷	۵۷/۵	۰
تا ۱۲ متر	۲۴/۶۳	۱۷/۳۴	۵۰/۶۷	۱۱/۹	۵۷/۵	۰
تا ۱۰ متر	۲۲/۹۴	۲۳/۰۲	۴۸/۲۷	۱۶/۰۵	۵۷/۵	۰
تا ۸ متر	۲۱/۳۷	۲۸/۳	۳۷/۵۹	۳۴/۶۳	۵۷/۵	۰
تا ۶ متر	۲۱/۳۷	۲۸/۳	۳۲/۰۴	۴۴/۲۸	۵۷/۵	۰
تا ۴ متر	۱۹/۷۵	۳۳/۷۲	۲۹/۸	۴۸/۱۷	۵۷/۵	۰

۲- روش کاهش عرض: این روش نیز با بکارگیری ۶ راهکار کاهش عرض مورد بررسی قرار گرفته است که شامل کاهش عرض به میزان ۲۰۰ متر، ۳۰۰ متر، ۴۰۰ متر، ۵۰۰ متر، ۶۰۰ متر و ۷۰۰ متر می شود. این راهکارها نیز برای ۴ منطقه بکار گرفته شده اند: الف) دهانه رودخانه ب) ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه ج) ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۴- (عمق و عرض اولیه: ۱۲ و ۱۲۰۰) د) ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۱- (عمق و عرض اولیه: ۱۵ و ۵۹۰). همانند قبل گزینه های ۱ و ۲ در نزدیکی دهانه رودخانه انتخاب شده اند و گزینه های ۳ و ۴ نیز بدین دلیل که بطور طبیعی دارای عرض کمتری از نقاط قبل از خود می باشند بکار گرفته شده اند. در نهایت بهترین نتایج برای این روش در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه بدست آمده است که در جدول ۶ نتایج مربوط به آن آمده است.

جدول ۶ نتایج بکارگیری روش کاهش عرض در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه اروند

کاهش عرض در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه						
میزان کاهش عرض	دبی ۱۰۴۰ m <sup>3</sup> /s		دبی ۵۲۰ m <sup>3</sup> /s		دبی ۲۶۰ m <sup>3</sup> /s	
	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ
حالت پایه	۲۹/۸	—	۵۷/۵	—	۵۷/۵	—
به میزان ۲۰۰ متر	۲۷/۷	۷	۵۷/۵	۰	۵۷/۵	۰
به میزان ۳۰۰ متر	۲۶/۰۹	۱۲/۴۵	۵۴/۷۹	۴/۷	۵۷/۵	۰
به میزان ۴۰۰ متر	۲۲/۹۴	۲۳/۰۲	۵۴/۷۹	۴/۷	۵۷/۵	۰
به میزان ۵۰۰ متر	۲۲/۹۴	۲۳/۰۲	۴۸/۲۶	۱۶/۰۷	۵۷/۵	۰
به میزان ۶۰۰ متر	۲۱/۳۷	۲۸/۲۸	۳۷/۶	۳۴/۶	۵۷/۵	۰
به میزان ۷۰۰ متر	۲۱/۳۷	۲۸/۲۸	۳۵/۷۵	۳۷/۸۳	۵۷/۵	۰

۳- ارزیابی روش کاهش همزمان عرض و عمق: این روش نیز با بکارگیری ۶ راهکار کاهش همزمان عرض و عمق بررسی شده است که عبارتند از : کاهش عرض به میزان ۲۰۰ متر و کاهش عمق تا ۱۴ متر، عرض به میزان ۳۰۰ متر و عمق تا ۱۲ متر، عرض به میزان ۴۰۰ متر و عمق تا ۱۰ متر، ۵۰۰ متر و ۸ متر، ۶۰۰ متر و ۶ متر و در پایان ۷۰۰ متر و ۴ متر. این ۶ راهکار نیز برای ۴ منطقه بکار گرفته شده اند الف) دهانه رودخانه ب) ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه ج) ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۵- و د) ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۴- . دو ایستگاه آخر بعد از دهانه

رودخانه و ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه دارای عملکرد مناسبی به ترتیب در روشهای کاهش عمق و کاهش عرض بوده اند. اما بهترین نتایج برای این روش نیز در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه بدست آمده است که در جدول ۷ نتایج آن مشاهده می شود.

جدول ۷ نتایج بکارگیری روش کاهش همزمان عرض و عمق در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه اروند

کاهش همزمان عرض و عمق در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه						
میزان کاهش عرض و عمق	دبی ۱۰۴۰ m <sup>3</sup> /s		دبی ۵۲۰ m <sup>3</sup> /s		دبی ۲۶۰ m <sup>3</sup> /s	
	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ	طول نفوذ (km)	درصد کاهش طول نفوذ
حالت پایه	۲۹/۸	.	۵۷/۵	.	۵۷/۵	.
عرض ۲۰۰ متر و عمق تا ۱۴ متر	۲۷/۷	۷	۵۴/۷۹	۴/۷	۵۷/۵	.
عرض ۳۰۰ متر و عمق تا ۱۲ متر	۲۲/۹۴	۲۳/۰۲	۵۲/۸۸	۸	۵۷/۵	.
عرض ۴۰۰ متر و عمق تا ۱۰ متر	۲۲/۹۴	۲۳/۰۲	۳۷/۶	۳۴/۶	۵۷/۵	.
عرض ۵۰۰ متر و عمق تا ۸ متر	۲۱/۳۷	۲۸/۲۸	۳۴	۴۷/۸۷	۵۷/۵	.
عرض ۶۰۰ متر و عمق تا ۶ متر	۲۱/۳۷	۲۸/۲۸	۳۲/۰۹	۴۴/۱۹	۵۷/۵	.
عرض ۷۰۰ متر و عمق تا ۴ متر	۱۹/۷۵	۳۳/۷۲	۳۲/۰۹	۴۴/۱۹	۵۷/۵	.

#### جمع بندی نتایج

در جدول ۷ نتایج بکارگیری روشهای مختلف بر مبنای بهترین گزینه بکار گرفته شده در مورد هر روش آمده است. این نتایج برای هر سه دبی ۱۰۴۰، ۵۲۰ و ۲۶۰ متر مکعب بر ثانیه بوده و کارایی هر روش بر اساس میزان کاهش طول نفوذ شوری بیان گردیده است. در ستون آخر جدول ۸، ایستگاه نهایی نفوذ شوری مشخص شده است.

جدول ۸ مقایسه کلی راهکارهای کنترل نفوذ شوری برای خور رودخانه ای اروند

راهکار کنترل نفوذ شوری	محل بکارگیری	کاهش طول نفوذ (%)			نفوذ تا ایستگاه		
		(m <sup>3</sup> /s)۱۰۴۰	(m <sup>3</sup> /s)۵۲۰	(m <sup>3</sup> /s)۲۶۰	(m <sup>3</sup> /s)۱۰۴۰	(m <sup>3</sup> /s)۵۲۰	(m <sup>3</sup> /s)۲۶۰
کاهش عمق تا ۴ متر	۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه	۳۳/۷۲	۴۸/۱۷	۰	شماره ۳-	شماره ۲	آبادان
کاهش عرض به میزان ۷۰۰ متر	۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه	۲۸/۲۸	۳۷/۸۳	۰	شماره ۲-	خسروآباد	آبادان
کاهش عرض به میزان ۷۰۰ متر و عمق تا ۴	۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه	۳۳/۷۲	۴۴/۱۹	۰	شماره ۳-	شماره ۴	آبادان
افزایش ضریب زبری مانینگ تا ۰/۰۸	از دهانه رودخانه تا ۱ کیلومتر پایین دست قصبه	۴۰	۲۰/۵۲	۰	شماره ۴-	شماره ۱۰	آبادان
افزایش ضریب زبری مانینگ تا ۰/۰۸	از ایستگاه اندازه گیری شوری شماره ۱- تا شماره	۱۲/۴۵	۴۴/۷۲	۰	شماره ۱	شماره ۴	آبادان

با توجه به جدول ۸ می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- با کاهش عمق تا ۴ متر در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه طول نفوذ شوری برای دبی حداقل سالانه به میزان ۴۸/۱۷ در صد کاهش پیدا می کند که این بیشترین میزان کاهش طول نفوذ برای دبی حداقل سالانه می باشد. بدین ترتیب مشکل شوری آب برای مناطق بالادست ایستگاه شماره ۲ از جمله منطقه خسروآباد، تا حدود زیادی کاهش پیدا خواهد کرد.
- با توجه به نتایج بدست آمده، بکارگیری هیچ یک از روشهای فوق در کاهش طول نفوذ شوری برای دبی پایینی در حد ۲۶۰ مترمکعب بر ثانیه موثر نخواهد بود.
- در مجموع می توان گفت که موثرترین روش در میان راهکارهای ارزیابی شده، کاهش عمق تا ۴ متر در ۳ کیلومتر بالادست دهانه رودخانه بوده است که عملکرد مناسبی را برای هر دو دبی متوسط و حداقل سالانه داشته است.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که بر پایه بررسی صورت گرفته، با کاهش عمق به کمتر از ۴ متر و نیز با کاهش بیش از ۷۰۰ متر عرض، تأثیری در کاهش بیشتر طول نفوذ شوری ایجاد نخواهد شد. دلیل این پدیده را می توان اینگونه مطرح نمود که مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر میزان نفوذ شوری به بالادست، دبی آب شیرین و شدت جذر و مد می باشد. در شرایط جزر، دبی آب شیرین، آب شور نفوذ کرده به بالادست را به سمت عقب می راند. اما در شرایطی که مقطع رودخانه از یک حد معین کوچکتر باشد این عمل به کندی صورت گرفته و بخشی از آب شور نفوذ کرده در بالادست به تله خواهد افتاد. ضمن اینکه این میزان کاهش عرض و عمق می تواند مشکلاتی را برای کشتیرانی به همراه داشته باشد. در پایان بررسی در مورد تأثیر بکارگیری روش کاهش عمق تا ۴ متر بر روی تراز سطح آب در بالادست و همچنین افزایش سرعت جریان در محل تنگ شدگی به انجام رسیده است.

#### مراجع:

- Dyer, K.R. (1973), "Estuaries: A Physical Introduction." John Wiley: New York; 140.
- زاهد و همکاران (۱۳۸۳) پیش بینی میزان نفوذ شوری در خور رودخانه ای اروند
- Cole, T.M., Wells, S.A., August (2001), "CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3, User Manual", Prepared for U.S Army Corps of Engineers Waterway Experiment Station
- Cole T.M. and Wells S.A. (2003). "CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3", Prepared for U.S Army Corps of Engineers Waterway Experiment Station.
- Cole, T. and Buchak, E. (1995) "CE-QUAL-W2, A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model", Version 2.0, Technical Report, EI-95-May 1995.
- Rodi, W. (1993). "Turbulence Models and Their Application in Hydraulics", 3rd edition, IAHR, A.A. Balkema, Rotterdam, 316pp.
- Simoes, F. 1998. "An Eddy Viscosity Model for Shallow-Water Flows," Water Resources Engineering 98, ASCE, NY, 1858-1863.
- Sweco. (1976). Abadan Island and Irrigation Project Report. Hydraulic Condition and Salt Water Mathematical Model Studies, Khuzestan Water and Power Authority.
- Van Der Tuin, H. (1987) "Guidelines on the Study of Seawater Intrusion into Rivers."
- McAnally, W.H., Pritchard D.W. (1997), "Salinity control in Mississippi River Under Drought Flows." Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineering 123(1): 34-40.

ICOPMAS

## **Estimation of Venturi Control Method in Containment of Penetration of Salt Water in Arvand River Estuary**

### **Abstract**

River estuaries, as delicate marine habitats, are of great importance. An important factor that can affect water quality of such spots is the penetration of salt water as a result of hydraulic changes. Intermixture of salt water and fresh water is an important issue in river estuaries. Penetration of salt water into river affects river water quality which is used for drinking, agricultural and industrial purposes. Researchers across the world have already introduced solutions for this natural event. Venturi control method, air curtain and storage dams are some examples of solutions that have already been introduced. This research discusses the efficiency of venturi control method in stopping penetration of salt water into Arvand River. This has been performed for three discharge level: 1040m<sup>3</sup>/s (mean annual discharge), 520m<sup>3</sup>/s (minimal annual discharge), and 260 m<sup>3</sup>/s (hypothetical minimal discharge). To estimate the efficiency of this method, a two-dimensional numerical model titled CE-QUAL-W2 was used. finally, it was found that venturi control method has satisfactory impact on decreasing the penetration of salt water.

**Keywords:** *River coves, venturi control, hydraulic changes*