

# شبیه سازی عددی اثر چسبنده های دریایی بر میزان سرعت جریان در دهانه آبیگرهای باز عمقی

فاطمه فرجی<sup>۱</sup>، عزیر عابسی<sup>۲\*</sup>، صابر وطن دوست<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، [Fateme.frj@nit.ac.ir](mailto:Fateme.frj@nit.ac.ir)

<sup>۲</sup> دکتری دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، [Oabessi@nit.ac.ir](mailto:Oabessi@nit.ac.ir)

<sup>۳</sup> دکتری استادیار گروه شیلات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل، [S.vatandoust@gmail.com](mailto:S.vatandoust@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نارینچه مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱	استفاده از آبیگرهای دریایی با هدف تأمین آب مورد نیاز کارخانه های آب شیرین کن، نیروگاه ها و سایر صنایع ساحلی در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با وجود نقش تعیین کننده در تأمین آب صنایع ساحلی، آبیگرهای دریایی به دلیل مکش آب می توانند تأثیرات نامطلوبی بر زندگی موجودات دریایی و زیستگاه های آنها به همراه داشته باشند. در سازه های آبیگر، چسبنده های دریایی به مرور زمان با چسبیدن به دهانه ورودی باعث تغییر در زبری میله ها شده و این موضوع تأثیر قابل توجهی بر عملکرد آبیگرها به دنبال خواهد داشت. در این پژوهش از طریق شبیه سازی عددی، نقش چسبنده ها بر عملکرد آبیگرها در قالب زبری های مختلف ۰/۰۰۱، ۰/۱۹ و ۰/۵ میلی متر مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی کمی تغییرات سرعت جریان ناشی از افزایش زبری در دهانه آبیگر بیانگر آن است که افزایش زبری ناشی از حضور چسبنده های دریایی در مجاری ورودی، باعث کاهش ۴ درصدی سرعت جریان و در نتیجه کاهش حجم برداشت آب خواهد داشت.
کلمات کلیدی: آبیگر عمقی سرعت جریان اثرات اکولوژیکی جذب و برخورد مدلسازی عددی	

## Numerical Simulation of the Effect of Marine Biofouling on the Flow Rate of Deep Open-Intake

Fateme Faraji<sup>1</sup>, Ozeair Abessi <sup>\*2</sup>, Saber Vatandoust<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Msc student department of civil engineering, Babol Noshirvani University of Technology, [Fateme.frj@nit.ac.ir](mailto:Fateme.frj@nit.ac.ir)

<sup>2</sup>Ph.D school of civil engineering, Babol Noshirvani University of Technology, [Oabessi@nit.ac.ir](mailto:Oabessi@nit.ac.ir)

<sup>3</sup>Ph.D school of fisheries, Babol Branch of Islamic Azad University, [S.vatandoust@gmail.com](mailto:S.vatandoust@gmail.com)

### ABSTRACT

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received : 12 Apr 2022

Accepted : 21 Apr 2023

#### Keywords:

Deep intake

Flow velocity

Ecological effects

Impingement and Entrainment

Numerical Modeling

Offshore open intakes are built to supply feed water for desalination plants, power plants, and many other coastal industries. They have positive effects on supplying water demands for the coastal cities, however, adverse effects on the life of marine organisms and their habitats have been reported. As the barnacles and biofouling may change the roughness of the intake opening, in this study, their effects on changing roughness from 0.001, 0.19 and 0.5 mm were numerically simulated and the intake performance, including flow velocity between screen rods and flow rate, were evaluated. Changes in flow velocity around the opening of the intake show that an increase in roughness will decrease flow velocity and flow rate up to 4 percent.

## ۱ - مقدمه

با افزایش جمعیت و گسترش صنعتی شدن و رفاه مردم به نظر می‌رسد در آینده نزدیک روش‌های سنتی و مرسوم تأمین آب شیرین دیگر پاسخگوی نیازهای بشر نبوده و استفاده از آب شور دریاها و اقیانوسها به عنوان منبع اصلی جایگزین برای تأمین آب مورد نیاز در کشاورزی، صنعت و شرب، گریز ناپذیر باشد. این روش در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا عملاً تنها گزینه باقی مانده برای تأمین آب مورد نیاز مناطق ساحلی محسوب می‌گردد. ایران با توجه به دسترسی به دریا از شمال و جنوب، در سال‌های اخیر، برنامه‌های متعددی برای آبیگری از پیکره‌های آبی پیرامون خود تنظیم نموده است. با توجه به حساسیت بالای اکولوژیکی این پهنه‌های آبی، فرایند آبیگری از دریا نیازمند به در نظر گرفتن تمهیدات ویژه‌ای برای مکانیابی و طراحی دقیق سازه آبیگر می‌باشد. در این زمینه لازم است مجموعه وسیعی از ملاحظات هیدرولیکی، هیدرودینامیکی و سازه‌ای در کنار معیارهای محیط زیستی و اقتصادی مورد توجه قرار گیرد [۱]. چرا که فرایند آبیگری معمولاً با مجموعه‌ای از پیامدهای نامطلوب اکولوژیکی در مجاورت دهانه‌های آبیگر همراه است. این تأثیرات را می‌توان به صورت جذب<sup>۱</sup> جانداران دریایی (عبور ارگانیسم‌های کوچکتر در مراحل اولیه زندگی، تخم و لاروی از آشغالگیر) و برخورد<sup>۲</sup> (گیر کردن ارگانیسم‌های بزرگتر در شبکه آشغالگیر) طبقه‌بندی نمود. به این ترتیب، آبیگرها در تعادلی شکننده بین اندازه ارگانیسم‌های دریایی وارده شده به داخل تاسیسات و کارکرد سیستم‌های تصفیه اولیه فعالیت می‌کنند [۲]. مرگ و میر موجودات دریایی بر اثر برخورد به سیستم آبیگر یا ورود موجودات آبی به تاسیسات ساحلی، همواره چالش‌های عمده‌ای در خصوص بهره‌برداری از این تاسیسات به وجود آورده است. عمده این نگرانی‌ها اما، با جانمایی مناسب آبیگر در عمق و فاصله کافی از مناطق حساس ساحلی و نصب درپوش کنترل سرعت<sup>۳</sup> قابل مدیریت و اصلاح هستند [۳].

آبیگرهای دریایی به صورت کلی به دو دسته آبیگرهای باز<sup>۴</sup> و زیر سطحی<sup>۵</sup> تقسیم می‌شوند. آبیگرهای باز رایج‌ترین سیستم برای آبیگری با دبی‌های بالا هستند و بسته به نحوه آبیگری به دو گروه آبیگرهای سطحی<sup>۶</sup> و عمقی<sup>۷</sup> تقسیم می‌شوند. آبیگرهای عمقی که متداول‌ترین روش برای آبیگری در کارخانه‌های عظیم نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس هستند، معمولاً با هدف کاهش ورود ر سوبات معلق، موجودات دریایی، آلودگی‌های سطحی و کاهش اثرات امواج بر سازه آبیگر، با فاصله از ساحل و دور از مناطق تجمع موجودات دریایی و نقاط تخلیه پسابهای شهری و صنعتی احداث می‌گردند. این آبیگرها ممکن است چند صد متر تا چند کیلومتر از ساحل دور

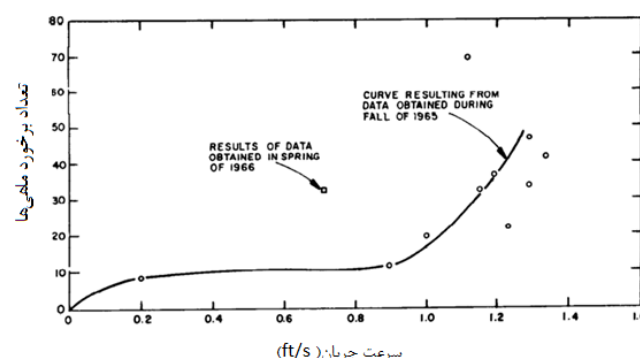
شوند تا از اعماق بالاتر که آب دریا کیفیت بهتر و دمای یکنواخت‌تری دارد آبیگری نمایند.

در آبیگرهای عمقی، احداث کلاهک سرعت، جریان عمودی را به جریان افقی تبدیل می‌کند تا توانایی ماهی‌ها برای فرار از مکش آبیگر و بلعیده شدن به داخل آن افزایش یابد چراکه در سرعت‌های افقی ماهی‌ها توانایی بهتری برای شنا و گریز از آبیگر خواهند داشت. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تغییر جهت جریان آبیگر می‌تواند باعث کاهش ۵۰ تا ۹۰ درصدی احتمال بلعیده شدن ماهی‌ها شود [۴]. در سرعت‌های پایین نیز جانوران آبی‌ز قادرند در خلاف جهت جریان شنا کرده و از دهانه آبیگر دور شوند، از این رو سرعت کم فرایند آبیگری می‌تواند باعث به حداقل رسیدن احتمال جذب، برخورد و مرگ آبیان دریایی شود. در واقع برخورد موجودات آبی‌زی زمانی اتفاق می‌افتد که موجودات توسط نیروی جریان آب به دام افتاده و امکان رهایی نداشته باشند. سرنوشت این ارگانیسم‌ها با توجه به جنس، گونه، سن و شرایط آب و هوایی متفاوت بوده و به نوع سیستم آبیگری بستگی دارد. برخی از گونه‌های سرسخت ممکن است بتوانند از برخورد جان سالم به در ببرند و به دریا بازگردند، اما نرخ بقای ۲۴ ساعته گونه‌های ضعیف‌تر و یا ماهی‌های جوان معمولاً کمتر از ۱۵ درصد است. جذب نیز زمانی اتفاق می‌افتد که ارگانیسم‌های کوچکتر از فیلترهای ورودی عبور کرده و وارد تجهیزات تصفیه و پردازش آب در ساحل شوند. ارگانیسم‌هایی که به تاسیسات ساحلی وارد می‌شوند معمولاً دارای نرخ مرگ و میر ۱۰۰٪ هستند [۴].

محیط زیست دریا در بردارنده گستره وسیعی از انواع ارگانیسم‌های آبی‌زی اعم از پلانکتون‌ها، بنتوزها و نکتون‌ها است. کمینه سازی مکش، جذب و برخورد این ارگانیسم‌ها به داخل سازه آبیگر یکی از مهمترین مسائل در طراحی و بهره‌برداری از این تاسیسات است. از اینرو نحوه طراحی سازه آبیگر موثرترین عامل در کاهش احتمال جذب و برخورد ارگانیسم‌های دریایی است. تاکنون مطالعات محدودی در ارتباط با اثرات مخرب آبیگرهای عمقی بر محیط‌های دریایی و روش‌های مقابله با آن گزارش شده است. به عنوان مثال براساس مطالعات گیل و همکاران، استفاده از فیلترهای سیم گوه‌ای می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از ورود موجودات دریایی به داخل فضای آبیگر برای دبی‌های کوچکتر از ۲۰۰۰۰ مترمکعب در ساعت باشد [۵].

در دهه ۱۹۷۰ آزمایشات گسترده‌ای برای ارزیابی احتمال برخورد ماهیان به فیلترهای دهانه آبیگر در سرعت‌های مختلف انجام گرفته است. مطابق شکل ۱ هنگامیکه سرعت از حدود ۱ ft/s (۰.۳۰۴۸ m/s) فراتر رود، میزان برخورد شدیداً افزایش می‌یابد. اگرچه مقدار ۱ ft/s به طور کلی مورد بحث قرار گرفته است، اما در نهایت

سرعت محافظه کارانه  $0.5 \text{ ft/s}$  ( $15/24 \text{ cm/s}$ ) به عنوان استاندارد توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا مورد تایید قرار گرفته است [۶].



شکل ۱ - نسبت تعداد برخورد ماهی ها به میزان سرعت در آبیگرهای عمقی [۶]

[۹]. این جانور سخت پوست، معمولاً به سطوح مختلف آب از جمله صخره‌ها، اجسام غرق شده در آب، سازه‌های آبی و حتی بدنه کشتی‌ها و قایق‌ها چسبیده و باعث سنگینی، افزایش اصطکاک و کاهش عملکرد آنها می‌شوند. اگرچه تاکنون در زمینه پیامدهای افزایش اصطکاک و افت انرژی در سازه آبیگر و شبکه آشغالگیر در شرایط مختلف دهانه ورودی آبیگرها مطالعاتی انجام نشده است ولی در زمینه تأثیر منفی چسبنده‌های دریایی بر عملکرد شناورهای دریایی مطالعات گسترده‌ای گزارش شده است [۸].

در دهانه‌های آبیگر افزایش زبری میله‌ها بر اثر رشد چسبنده‌های دریایی باعث تغییر سرعت و دبی جریان ورودی خواهد شد. ارگانسیم‌های دریایی، عکس العمل متفاوتی به سرعت مکش در دهانه آبیگر خواهند داشت و سرعت زیاد و عدم یکنواختی جریان می‌تواند به بلعیده شدن انواع لاکپشت‌ها، عروس‌های دریایی، مارها و ماهی‌ها منجر گردد. عدم آگاهی از محدودیت‌های محیط زیستی در طراحی دهانه آبیگر، می‌تواند به بلعیده شدن انواع آبزیان دریایی ساکن در بدنه آب، بلند شدن رسوبات و مکش موجودات کفزی ساکن در بستر دریا منجر شود. در این پژوهش تأثیر چسبیدن بارناکل‌ها در دهانه آبیگر، بر تغییرات سرعت و دبی جریان و نهایتاً امکان جذب و مکش آبزیان دریایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. علاوه بر آن توانایی نکتون‌های ساکن در مجاورت دهانه‌های آبیگر نسبت به برخورد و جذب به داخل آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور با شبیه سازی عددی تأثیرات زبری ناشی از چسبیدن بارناکل‌ها به سطوح آبیگر، تغییر در پارامترهای سرعت سه بعدی جریان مورد مطالعه قرار گرفته و اثرات متقابل آن بر آبزیان ساکن با مقایسه اندازه و توانایی آنها برای شنا و پرهیز از بلعیده شدن به صورت تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفته است. عدم دسترسی به مطالعات میدانی و آزمایشگاهی در ارتباط با ابعاد و اندازه برجستگی‌های حاصل از تجمع بارناکل‌ها در دهانه‌های آبیگر و نحوه تأثیر آن بر افزایش زبری و کاهش عملکرد آبیگر برای یک پیکره آبی خاص، مهمترین محدودیت این مطالعه می‌باشد که این مطالعه را محدود به بررسی تأثیر عمومی گرفتگی زیستی در دهانه‌های آبیگر برای ۳ زبری مختلف (با توجه به محدودیت‌های مدل عددی) کرده است.

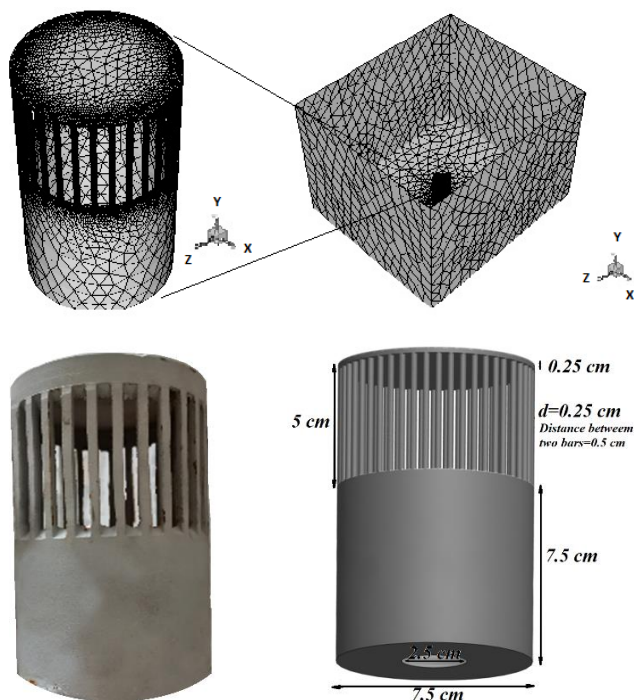
## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱ - شبیه سازی عددی

در این تحقیق مدلسازی عددی آبیگر توسط نرم افزار انسیس فلوئنت نسخه ۲۱ انجام شده است. در این نرم افزار معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر دینامیک جریان سیالات به کمک روش احجام محدود به معادلات جبری تبدیل و امکان حل عددی آنها در شرایط مختلف فراهم شده است. در مدلسازی ریاضی جریان سیال،

یکی دیگر از معضلات آبیگرهای دریایی، بالاخص آبیگرهای عمقی کشتی‌چسب‌ها یا جانوران چسبنده به بسترهای سخت هستند که با چسبیدن به دهانه آبیگر و افزایش زبری سطح، کاهش آبیگری در این تاسیسات را به همراه دارند. از این رو آبیگرهای دریایی معمولاً در بازه‌های زمانی مشخص نیاز به پاکسازی فیزیکی برای کندن این جانوران از غربال‌های دهانه ورودی دارند. براساس مطالعات ناکانو و همکاران، چسبیدن و تجمع ارگانسیم‌های زیستی بر سطوح زیر آب می‌تواند به شدت بر فعالیت‌ها و عملکرد زیرساخت‌های دریایی و شناورهای متحرک تأثیرگذار باشد [۷]. پولمن و همکاران گزارش کردند که تجمع ارگانسیم‌های چسبنده در سیستم‌های خنک‌کننده (CWS) به یکی از اصلی‌ترین معضلات صنایع، نیروگاه‌ها و تاسیسات آب‌شیرین‌کن ساحلی در سراسر جهان تبدیل شده است. چسبیدن این موجودات بسته به ابعاد گونه و الگوی رشد آنها می‌تواند به شدت باعث افزایش زبری دیوارها و سطوح شده و کاهش قطر داخلی مجاری را به دنبال آورد. این موضوع خود به از دست دادن قابل توجه ظرفیت عبور جریان ورودی و راندمان عملکرد این تاسیسات منجر خواهد شد [۸]. بارناکل‌ها که گروهی از بندپایان زیرشاخه سخت پوستان، رده ماگزیلوپودا یا آرواره پایان و خرچنگ‌های دریایی هستند، از مهمترین این کشتی‌چسب‌ها محسوب می‌گردند. مطالعات گزارش شده در ارتباط با فراوانی ارزیابی تأثیر بارناکل‌ها بر تاسیسات ساحلی در شمال و جنوب کشور بسیار کم تعداد و محدود می‌باشد. ترابی و همکاران میزان زیست توده، درصد پوشش و عوامل موثر بر توزیع و پراکنش بارناکل موجود در سواحل جنوبی دریای خزر را مورد بررسی قرار داده و بیشترین فراوانی بارناکل‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر را در دمای ۱۶ تا ۱۷ درجه و شوری ۸ تا ۹ گرم بر لیتر گزارش نمودند

صفر لحاظ شده تا تخلیه آب به صورت ثقلی انجام گیرد. در شکل ۲ هندسه و شبکه بندی مخزن و سازه آبنگیر نشان داده شده است. در این پژوهش اثر تجمع رسوبات زیستی در دهانه آبنگیر بر تغییر الگوی جریان در قالب زبری‌های مختلف شبیه‌سازی شده است. مطالعات میدانی و آزمایشگاهی در ارتباط با الگوی رشد جانوران چسبنده به دهانه‌ها آبنگیر بسیار محدوده بوده و محققان تحقیق حاضر قادر به یافتن نمونه‌ای از آن نبوده‌اند. مطالعات مجزا و تصاویر موجود از اثر چسبنده‌ها با شناورها و سازه‌های مستغرق بیانگر الگوی مشخص از زبری در دهانه آبنگیر نبوده است. به نظر می‌رسد تاثیر فرم عمومی سطح بر ضریب زبری<sup>۹</sup> در کنار زبری ناشی از شکل و اندازه بارناکل‌ها تاثیرگذار باشد. در این تحقیق تاثیر چسبنده‌های دریایی در حالت ساده و عمومی مساله یعنی افزایش یکسان زبری در میله‌های آبنگیر از طریق شبیه‌سازی زبری‌های مختلف ۰/۰۰۱، ۰/۱۹ و ۰/۵ میلی‌متر که به ترتیب معادل زبری میله‌ها از جنس آلومینیم، چوب و بتن در مدل عددی فلوئنت می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱][۱۲]. مقادیر ضریب زبری فوق به طور پیش فرض در مدل فلوئنت برای مواد از پیش معرفی شده موجود می‌باشد. به این ترتیب تاثیر چسبنده‌های دریایی (به عنوان عامل افزایش زبری) بر میزان تغییرات سرعت طولی (از پایین‌ترین تا بالاترین نقطه)، سرعت عرضی (سرعت بین میله‌ها) و سرعت شعاعی (سرعت از دیواره آبنگیر به اطراف) و تغییرات آبدهی دهانه آبنگیر ارزیابی و از طریق تبدیل سرعت مدل به سرعت در ابعاد واقعی، مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۲- شکل و ابعاد کلاهک آبنگیر و شبکه بندی مدل مخزن و دهانه

خصوصیات فیزیکی جریان به وسیله دو اصل اساسی قانون بقای جرم (معادله پیوستگی) و بقای مومنتوم (معادله ناویر-استوکس) بیان می‌گردد. برای مدلسازی تاثیر آشفتگی بر رفتار جریان نیز روشهای متنوعی توسعه داده شده است.

در مطالعه حاضر، یک تانک مکعب مستطیل از سیال محیط فرض و سازه آبنگیر در کف مخزن قرار داده شده است. هندسه آبنگیر با مقیاس ۱ به ۴۰ از ابعاد واقعی آبنگیر عمقی آب‌شیرین‌کن سیدنی شبیه‌سازی شده و از شبکه‌هایی با امان‌های شش وجهی، هرمی یا گوه‌ای برای مش بندی حجم کنترل مورد مطالعه استفاده شده است. ابعاد تانک مورد بررسی به ترتیب ۸۰ cm طول، ۷۰ cm عرض و ۵۶ cm ارتفاع است. ارتفاع آب در مخزن معادل حداکثر عمق آبنگیری در دریا در نظر گرفته شده است. ابعاد فوق براساس ابعاد تانک و آبنگیر مورد مطالعه در مشاهدات آزمایشگاهی حاجی تبار و همکاران تعیین شده است [۱۰].

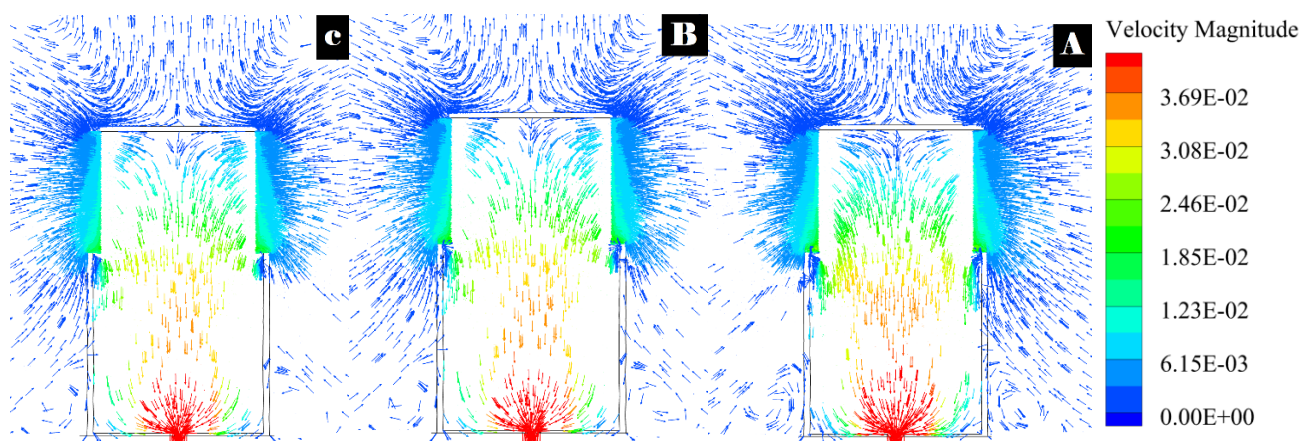
برای ترسیم هندسه محیط از بخش Design Modeler استفاده شده و شبکه بندی محیط توسط Fluent Meshing نرم افزار فلوئنت انجام گرفته است. در مدل عددی توسعه داده شده، شبکه بندی دامنه محاسباتی به صورت منحنی و هرم در فضای داخل و خارج دهانه آبنگیر صورت گرفته است. به منظور افزایش دقت، اندازه سلول‌های محاسباتی در اطراف دهانه آبنگیر کوچک‌تر و در نقاطی که تغییرات میدان جریان کمتر است، اندازه شبکه بزرگتر در نظر گرفته شده است. به این ترتیب اندازه کوچکترین مش ۳/۹۲ میلی‌متر و تعداد سلول‌ها ۲۹۳۱۰۴۸ عدد می‌باشد. این ترکیب، بهینه‌ترین حالت برای اندازه‌های مش‌ها در شبکه محاسباتی بوده که از طریق ران‌هایی با تعداد مش مختلف برای دستیابی به دقت بیشتر با هزینه محاسباتی قابل پذیرش به دست آمده است.

آبنگیرهای عمقی براساس قابلیت شنای افقی ماهیان طراحی شده‌اند تا اثرات مکش برای جذب موجودات آبی را حداقل کنند. از این رو درپوشی بر روی دهانه آبنگیر قرار داده شده تا سرعت عمودی را به سرعت افقی تبدیل کند. در این پژوهش، ارتفاع کل آبنگیر، ارتفاع بخش بازشو (میله‌ها)، قطر داخلی و قطر مجرای خروجی دهانه طراحی شده به ترتیب ۵، ۷/۵ و ۰/۷ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. در آبنگیر فوق جهت محدود نمودن ورود آبزیان و تجمع زباله، بازشو با میله‌هایی با ضخامت ۰/۲۵ سانتیمتر که در آن فاصله بین میله‌ها ۰/۵ سانتیمتر است طراحی شده است. به این ترتیب ناشی از حضور میله‌ها سطح مقطع عبوری از کلاهک آبنگیر ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. مرزهای اطراف و کف تانک به صورت wall و مرز منطبق بر سطح آزاد در بالا و مرز خروجی آب، هر دو به صورت pressure-outlet در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به وجود سطح آزاد در بالا و خروجی آب از انتهای آبنگیر به محیط، فشار نسبی

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- تغییرات الگو و سرعت جریان در دهانه آبگیر

همانطور که اشاره شده به منظور کمینه سازی اثرات نامطلوب فرایند آبگیری در دریا، پیش‌بینی الگو و سرعت جریان در دهانه آبگیر و محیط پیرامون آن از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این بخش نتایج شبیه سازی عددی جریان و الگوی عمومی سرعت بین میله‌ها و اطراف آن برای زبری‌های مختلف دهانه آبگیر آورده



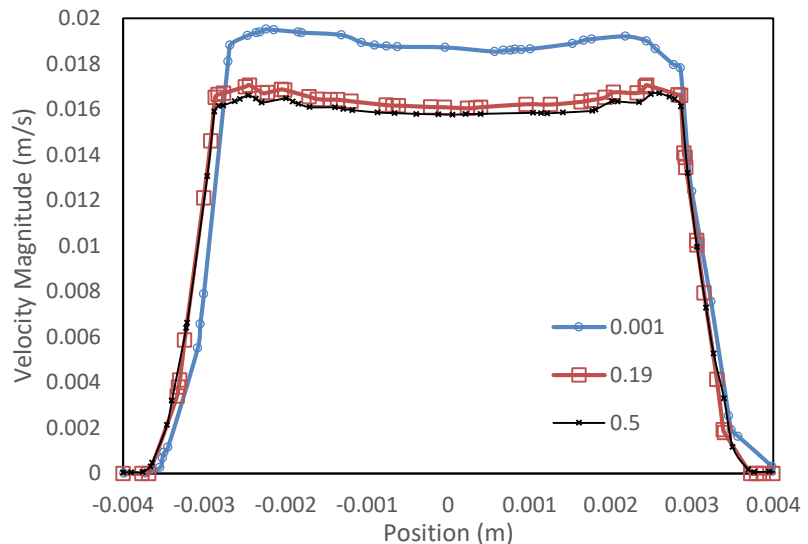
شکل ۳- تغییرات الگوی جریان در دهانه آبگیر برای میله‌هایی با زبری (میلی‌متر) A: 0.001، B: 0.19 و C: 0.5

مشاهده شده است. میزان آبدهی براساس سرعت ورود آب به داخل آبگیر و سطح مقطع جریان (مساحت باز شو) محاسبه گردیده است. در ارتباط با سرعت عرضی جریان در محل باز شو، بیشترین سرعت در میانه باز شو و با فاصله کمی از میله‌ها اتفاق افتاده، درحالی‌که سرعت در روی میله‌ها صفر می‌باشد. این درحالیست که لایه مرزی مشخصی ناشی از زبری میله‌ها در مجاورت آنها شکل می‌گیرد. بنابراین، با افزایش چسبیدن بارناکل‌ها و افزایش زبری در میله‌ها، کاهش بیشتری در سرعت جریان در دهانه آبگیر مشاهده خواهد شد. در این حالت با افزایش زبری از ۰/۰۰۱ به ۰/۵ میلیمتر میزان سرعت در دهانه آبگیر به ترتیب ۱۲/۵ تا ۱۴/۵ درصد کاهش می‌یابد.

از آنجایی که پدیده جذب و برخورد آب‌زبان دریایی متأثر از میزان سرعت جریان در دهانه آبگیر است، در این بخش، تاثیر تغییرات زبری بر پروفیل‌های سرعت طولی و عرضی جریان عبوری از میله‌ها، مورد بررسی قرار گرفته و در قالب شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود محدوده‌ای تا چندین برابر قطر آبگیر از مکش جریان متأثر می‌شود. سرعت مکش در محل دهانه آبگیر حداکثر بوده و با فاصله از آن سریعاً کاهش می‌یابد.

بررسی مقایسه‌ای نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد افزایش زبری میله‌ها باعث افزایش تعداد گردابه‌ها و افت بیشتر انرژی جریان و در نتیجه کاهش سرعت جریان می‌شود. لذا با افزایش زبری از ۰/۰۰۱ به ۰/۵ به ترتیب کاهش ۳ تا ۴ درصدی در میزان آبدهی آبگیر





شکل ۴ - پروفیل عرضی سرعت بین میله‌های آبگیر با زبری (میلی‌متر) A:0.001 و B:0.19 و C:0.5

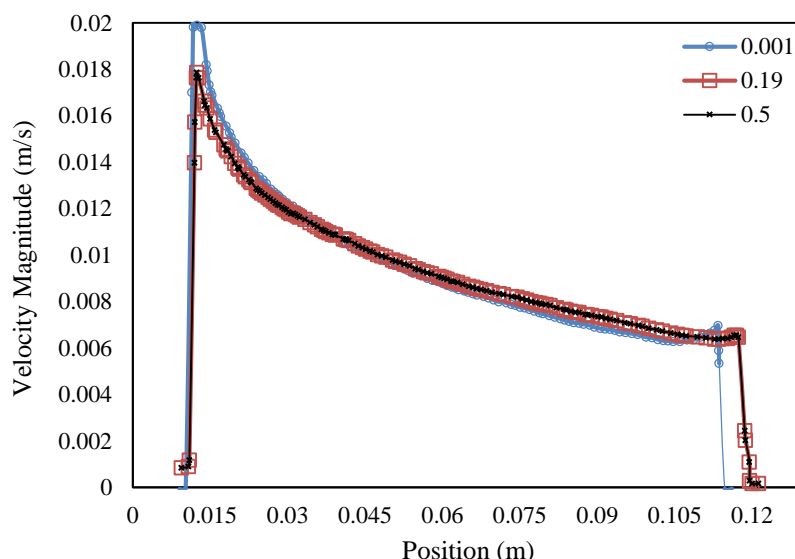
از قسمت‌های بالایی آن می باشد که این مقدار با افزایش زبری کاهش داشته است.

در استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، رعایت حداکثر سرعت ۰/۱۵ متر بر ثانیه در طراحی دهانه آبگیر مورد تاکید قرار گرفته است. این موضوع اصلی‌ترین راهکار مقابله با اثرات نامطلوب آبگیر برای مکش موجودات آبی معرفیه شده است [۱۳]. بررسی پروفیل‌های طولی سرعت جریان در دهانه آبگیر، نشان دهنده این حقیقت است که اگرچه استفاده از قانون پیوستگی و برآورد سرعت میانگین جریان از روی دی عبوری ممکن است بیانگر ارضای معیار فوق باشد، در قسمت‌های پایین‌تر دهانه که نزدیک به بستر و محل تجمع موجودات کفزی است، سرعت آبیگری ممکن است تا ۶۰ درصد بیشتر از سرعت در بالای دهانه باشد و این موضوع نقض استاندارد و افزایش احتمال برخورد و جذب آبزیان را به همراه خواهد داشت.

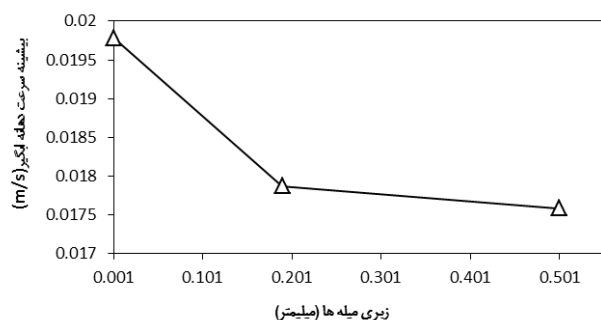
به این ترتیب نتایج مدل حاضر نشان می‌دهد که با افزایش زبری از ۰/۰۰۱ به ۰/۱۹ و ۰/۵ میلی‌متر، مقدار بیشینه سرعت (سرعت در پایین‌ترین نقطه آبگیر)، به ترتیب به میزان ۹/۷، ۵/۵ و ۳/۹ درصد کاهش می‌یابد.

برای جلوگیری از چسبیدن و رشد گونه‌های رسوب کننده (چسبنده های دریایی)، استفاده از آلیاژهای نیکل برای سازه آبگیر و ترکیبات ضد رسوب توصیه شده است. با این وجود، پاکسازی فیزیکی دهانه آبگیر هر از چند گاهی، اجتناب ناگزیر بوده و این موضوع هزینه زیادی را به بهره برداران این تاسیسات تحمیل می‌کند.

به صورت عمومی در دهانه آبگیر از بالا تا پایین، سرعت با افزایش عمق افزایش می‌یابد (شکل ۵) و این به معنی امکان ارضای استاندارد سرعت در بالای دهانه و عدم ارضای آن در قسمت‌های پایین‌تر است. افزایش سرعت در امتداد طولی میله‌ها ناشی از افزایش عمق آب (فشار هیدرواستاتیک) بوده، در نتیجه بیشینه سرعت در پایین‌ترین نقطه میله‌ها اتفاق می‌افتد. در این حالت افزایش سرعت در قسمت‌های پایینی دهانه آبگیر تا ۶۰ درصد بیشتر



شکل ۵ - پروفیل طولی سرعت از بالا تا پایین میله آبیگر برای زبری (میلی متر) A: 0.001 ، B: 0.19 و C: 0.5



شکل ۶ - تغییرات بیشینه سرعت جریان در دهانه آبیگر برای میله هایی با زبری (میلی متر) A: 0.001 ، B: 0.19 و C: 0.5

## ۳-۲ - تعیین بیشینه سرعت جریان در دهانه آبیگر

در شکل ۶ مقادیر بیشینه سرعت جریان در دهانه آبیگر برای زبری های مختلف ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می شود کاهش سرعت ناشی از افزایش زبری دهانه از ۰/۰۰۱ به ۰/۱۹ (۱۹۰) برابر) دارای تاثیرات بسیار قابل توجه بوده در حالیکه افزایش زبری میله ها از ۰/۱۹ به ۰/۵ (۵ میلی متر (۲/۶ برابر) تنها کاهش ناچیز سرعت جریان را به دنبال داشته است. این کاهش تاثیر چشمگیری در میزان سرعت و دبی آبیگری جریان نداشته است. بطور خلاصه مقادیر بیشینه سرعت ها در عرض و طول دهانه آبیگر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ - تاثیر زبری های مختلف بر تغییرات سرعت در دهانه آبیگر

بیشینه سرعت عرضی آبیگر (cm/s)		زبری (mm)	قطر میله ها (cm)	ارتفاع آب (cm)
بیشینه سرعت طولی (cm/s)	مدل			
واقعی	مدل	واقعی	مدل	
۱۲/۵۱	۱/۹۸	۱۲/۳۵	۱/۹۵	۰/۰۰۱
۱۱/۳۰	۱/۷۹	۱۰/۸۰	۱/۷۱	۰/۱۹
۱۱/۱۲	۱/۷۶	۱/۵۸	۱/۶۷	۰/۵

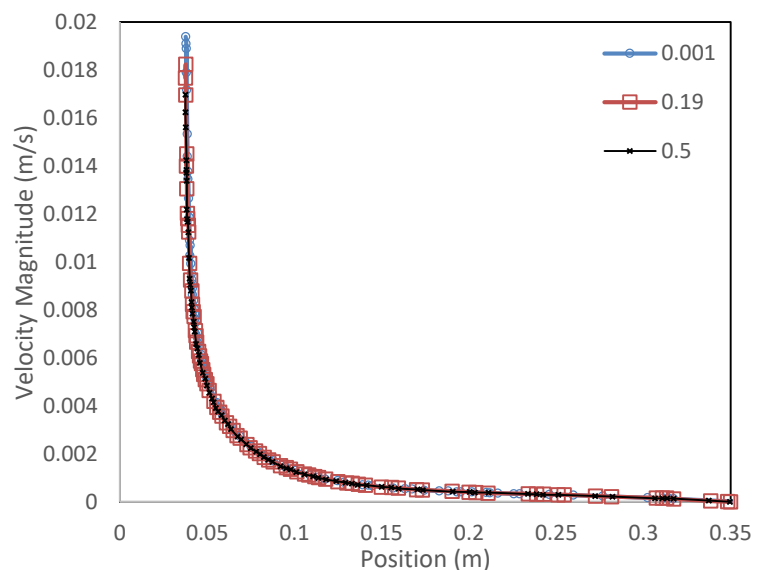
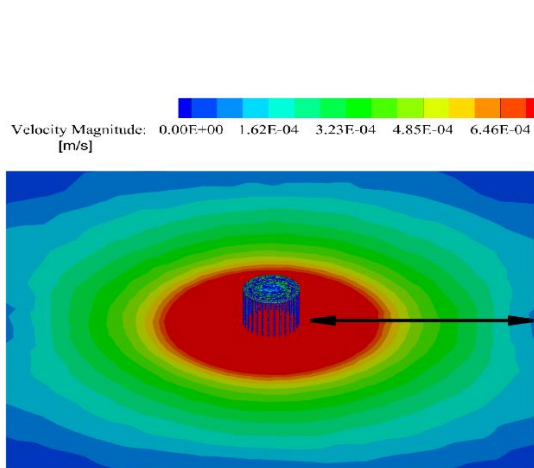
## ۳-۲ - تغییرات سرعت شعاعی جریان در اطراف دهانه آبیگر

از آنجائیکه توانایی ماهی ها در اجتناب از برخورد، به توانایی شنای ماهی و مسافتی که برای رسیدن به منطقه ایمن نیاز است، بستگی دارد، در این بخش نسبت به تعیین شعاع عملکردی آبیگر و مقایسه حالات مختلف با یکدیگر اقدام شده است. منطقه نایمن که از لحاظ تئوری به آن نقطه بدون بازگشت گفته می شود، جایی است که فراتر از آن ماهی قادر به اجتناب از برخورد نیست [14]. بررسی های پیشین نشان می دهد که ماهی ها با اندازه، شرایط و توانایی

شنای متفاوت، ممکن است نقطه بدون بازگشت متفاوتی داشته باشند و لزوماً ماهی ها به یک شیوه تحت تاثیر مکش آبیگر قرار نمی گیرند [۶]. با توجه به اینکه توانایی شنای گونه ها مختلف ماهیان آبهای شور و لب شور بین ۷ تا ۳۹ سانتی متر بر ثانیه گزارش شده است، اثر احتمالی آبیگرهای عمقی در میزان جذب و برخورد گونه های مختلف نیز متفاوت از هم خواهد بود.

در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر آبیگر بر آبیانی که در پیرامون آن شنا می کنند، تغییرات سرعت شعاعی با فاصله از دهانه آبیگر با

گردیده است. مقدار سرعت بیشینه در این محدوده در شرایط مختلف زبری  $0.01/0$ ،  $0.19/0$  و  $0.5/0$  میلیمتر از محل دهانه آبگیر، به ترتیب از  $12/28$ ،  $11/27$  و  $10/74$  سانتیمتر بر ثانیه بوده که به صورت نمایی تا نزدیک به صفر در فاصله حدوداً ۶ متری از دهانه آبگیر کاهش می‌یابد. این نکته بیانگر این است که در فاصله کافی از آبگیر، آبریزان در امنیت کافی نسبت به مکش قرار دارند در حالیکه باتوجه به توانایی شنای متفاوت آبریزان، در نزدیکی آبگیر امکان جذب و برخورد ناگهانی موجودات به خصوص در شیرجه عمودی وجود دارد.



شکل ۷ - تغییرات سرعت شعاعی در اطراف سازه آبگیر با زبری (میلی متر) A: 0.001، B: 0.19 و C: 0.5

آبگیر کاهش می‌یابد. در این تحقیق جهت برآورد سرعت جریان در محل بازو اقدام به شبیه‌سازی عددی جریان در دهانه آبگیر شده و اثرات اکولوژیکی آبگیر در قالب دو پدیده تجمع رسوبات زیستی و جذب و برخورد موجودات آبی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی اثر تجمع چسبنده‌های دریایی بر کاهش عملکرد آبگیر، تاثیر فرضی بارناکل‌ها نیز بر افزایش یکنواخت زبری دهانه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج مدل نشان داد که افزایش تجمع رسوبات زیستی، باعث افزایش تعداد گردابه‌ها و افت بیشتر انرژی جریان شده و این موضوع مقدار سرعت در دهانه آبگیر و در نتیجه میزان دبی آبگیری را تا میزان ۴ درصد کاهش می‌دهد. همچنین جهت تعیین شعاع عملکرد آبگیر اقدام به ترسیم الگوی سرعت جریان با فاصله از دهانه آبگیر شده و تاثیر زبری‌های مختلف بر آن مورد بررسی قرار گرفته است. شعاع عملکرد آبگیر در نمونه آزمایشگاهی ۱۵ سانتیمتر و در مقیاس واقعی این آبگیر (مقیاس ۱:۴۰ آبگیر سیدنی) به میزان ۶ متر برآورد گردیده است.

در شرایط واقعی تاثیر آبگیر بر آبریزان محدود به این ناحیه بوده و با فاصله از آن این تاثیر سریعاً کاهش یافته و احتمال برخورد و جذب منتفی می‌گردد. برای شرایط طراحی، چنانچه برداشت آب با دبی‌های بیشتر مورد نظر باشد و تعداد دهانه‌های متعددی برای آبگیری مورد نیاز باشد، دهانه‌های آبگیر الزاماً باید در فاصله کافی نسبت به یکدیگر قرار گیرند. در صورت عدم ارضای سرعت توصیه شده بر اثر برهم‌کنش آبگیرها بر یکدیگر، موجودات حد واسط تحت شرایطی فراتر از استانداردهای توصیه شده قرار گرفته و به راحتی به داخل سیستم آبگیر بلعیده خواهند شد. بررسی این موضوع خود نیازمند مطالعات دقیق آزمایشگاهی و عددی است.

### ۳- نتیجه گیری

در آبگیرهای دریایی، کلاهی آبگیر با تبدیل سرعت عمودی به افقی، توانایی ماهی‌ها برای فرار و بلعیده نشدن به داخل آبگیر را افزایش می‌دهد. در این حالت ماهی‌ها توانایی بهتری برای گریز از تغییرات سرعت عمودی یافته و ریسک کشیدن شدن آنها به داخل



*Sea, Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), in the rocky shores of south Caspian Sea, Journal of Aquatic Ecology, 5(2): p. 57-67. (In Persian)

10- Hajitabar, M., Abessi, O., and Hamidi, M., (2021), Investigation of the Effect of water level on deep seawater intakes. Journal of Marine Engineering, p. 97-109. (In Persian)

11- Moody, L.F., (1944) Friction factors for pipe flow. Trans. Asme, 66: p. 671-684

12- Munson, B.R., et al., Fluid mechanics. (2013): Wiley Singapore.

13- EPA, (2014), EPA (United States Environmental Protection Agency) (2014). National pollutant discharge elimination system—Final regulations to establish requirements for cooling water intake structures at existing facilities and amend requirements at phase I facilities; Final Rule. Federal Register 79(158).

14- Abessi, O., (2018). Brine disposal and management—planning, design, and implementation. In Sustainable Desalination Handbook (pp. 259-303). Butterworth-Heinemann.

به این ترتیب مشاهده شد که تغییر زبری دهانه آبگیری تاثیر چندانی در طول این فاصله نداشته است.

بطور کلی نتایج مدلسازی عددی بیانگر آن بوده است که در شرایط حاکم بر طراحی اولیه کلاهیک آبگیر و انباشت بارناکلها، سرعت جریان از حد استاندارد (۱۵ سانتیمتر بر ثانیه) عبور نکرده و تنها ۴ درصد کاهش آبدی با گذر زمان مشاهده خواهد شد. این موضوع اما زنگ خطر برای ارزیابی تاثیر افزایش بیشتر زبری و گرفتگی سطح مقطع دهانه آبگیر و محدوده شدن آبدی در گرفتگیهای شدیدتر را به صدا در می آورد.

#### کلید واژگان (در صورت نیاز)

- 1- Entrainment
- 2- Impingement
- 3- Velocity Cap
- 4- Open Intake
- 5- Subsurface Intake
- 6- Onshore Open Intake
- 7- Deep Intake
- 8- Cooling Water System
- 9- Bed Form Roughness

#### ۶- مراجع

- 1- Mackey, E.D., (2011), Assessing seawater intake systems for desalination plants, Water Research Foundation.
- 2- Hogan, T.W., (2015), Impingement and entrainment at SWRO desalination facility intakes, in Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities, Springer, p. 57-78.
- 3- Woo, S., et al., (2013), Seawater intake system in Test Bed seawater reverse osmosis (SWRO) project. Desalination and Water Treatment, 51(31-33): p. 6238-6247.
- 4- Pankratz, T., (2004), An overview of seawater intake facilities for seawater desalination, The future of desalination in Texas, 2.
- 5- Gille, D., (2003), Seawater intakes for desalination plants. Desalination, 156(1-3): p. 249-256.
- 6- EPRI, (2000), Technical evaluation of the utility of intake approach velocity as an indicator of potential adverse environmental impact under Clean Water Act section 316 (b), EPRI, Palo Alto California.
- 7- Nakano, D. and Strayer, D.L., (2014), Biofouling animals in fresh water: biology, impacts, and ecosystem engineering, Frontiers in Ecology and the Environment, 12(3): p. 167-175.
- 8- Polman, H., Verhaart, F., and Bruijs, M., (2013), Impact of biofouling in intake pipes on the hydraulics and efficiency of pumping capacity. Desalination and Water Treatment, 51(4-6): p. 997-1003.
- 9- Taghavi, H. and Rahimibashar, M.R., (2015) Distribution pattern of invasive barnacles of Caspian