

بررسی تأثیر تغییرات ارتفاع آب در آبگیرهای عمقی

محمد حاجی تبار^۱، عزیز عابسی^{۲*}، مهدی حمیدی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. Mohamad.hjt8@gmail.com

^{۲*} استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. Oabessi@nit.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. Hamidi@nit.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

استفاده از آبگیرهای دریایی با هدف تأمین آب مورد نیاز کارخانه‌های نم‌زدایی، نیروگاه‌ها و صنایع ساحلی از دریا، در سالهای اخیر بسیار متداول گشته است. علاوه بر کمیت و کیفیت مطلوب آب برداشت شده، آبگیری از دریا باید به نحوی انجام گیرد از لحاظ محیط زیستی نیز پیامدهای نامطلوبی به همراه نداشته باشد. سازه‌های آبگیر به طور کلی به دو گروه آبگیرهای مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. عملکرد آبگیرهای مستقیم به شدت تحت تأثیر شرایط دریا از جمله نوسانات تراز سطح آب دریا و هیدرودینامیک جریان و امواج قرار دارد. در طراحی آبگیرهای مستقیم و عمقی، تعیین ابعاد دهانه آبگیر، ارتفاع دهانه از کف و تأثیر تغییرات تراز آب دریا بر دبی برداشت آب مسائلی چالش‌برانگیز محسوب می‌گردند. نوسانات سطح آب دریا که می‌تواند ناشی از جزر و مد، تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی زمین باشد، اختلال در کارکرد محیط زیستی آبگیرهای عمقی را به همراه خواهد داشت. در این پژوهش با مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی دهانه آبگیر تأثیر تغییرات تراز آب بر عملکرد هیدرولیکی دهانه آبگیر، در محدوده میدان نزدیک مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، از تأثیرات لایه بندی محیط، امواج و جریانات محیطی صرف‌نظر شده و صرفاً اثر تغییرات عمق آب در محیط ساکن و همگن، بر سرعت آبگیری در دهانه آبگیر، مجاورت سطح آب و نزدیک بستر مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که تأثیر افزایش عمق و پیرو آب دبی برداشت بر سرعت جریان در سطح آب بیشتر از سرعت در مجاورت بستر بوده و در همه موارد روابط بی بعد توسعه داده شده از یک الگوی خطی پیروی می‌کنند.

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵

کلمات کلیدی:

آبگیر عمقی

تغییرات سطح آب

مدلسازی عددی

CFD

سرعت جریان

Investigation of the Effect of water level on deep seawater intakes

Mohamad Hajitabar¹, Ozeair Abessi^{2*}, Mehdi Hamidi³

¹ Master Student of Marine Eng, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

^{2*} Assistant Professor, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

³ Associate Professor, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 16 Dec. 2020

Accepted: 26 May. 2021

Keywords:

Deep intake

Water level changes

Numerical modeling

CFD

Flow velocity

ABSTRACT

Feedwater supply for coastal desalination plants, powerplants and other coastal industries using marine intakes has become a common approach during last years. Besides providing water with high quality, intake design should be economically and environmentally acceptable too. The intakes are generally divided into two groups i.e. direct and indirect intakes. The efficiency of direct intakes is a function of sea conditions such as the changes in seawater level and the hydrodynamic of the waves and tides. In deep intakes, the size of the cap, changes in seawater level, and consequently changes in water inflow are challenging design parameters. Seawater level changes due to tides, and the potential effects of climate change and global warming can disrupt the functionality of deep intake systems. In this study, the effect of sea-level changes on the performance of deep intakes has been investigated by studying the hydraulics of the velocity cap along the nearfield. So, an experimental and computational fluid dynamics model has been developed to investigate flow regimes at the location of the velocity cap, vicinity of the surface, and at the sea floor. Density stratification, wave effects, and ambient current have been ignored, so the simulations only developed for stagnant and non-stratified conditions.

۱ - مقدمه

برای سالها، برداشت مستقیم آب به وسیله کانال ساحلی و به صورت ثقلی، متداولترین روش برای آبیگری از دریا محسوب می گردید؛ امروزه اما استفاده از آبگیرهای عمقی که روشی بهتر از حیث کیفیت آب برداشتی می باشد، متداول شده است.

تاکنون انواع مختلف سازه‌های آبگیر توسعه داده شده‌اند که برحسب نیاز پروژه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد. از دیدگاه فناوری، آبگیرها به دو نوع ۱- آبگیرهای مستقیم یا باز^۱ و ۲- آبگیرهای غیرمستقیم یا زیرسطحی^۲، تقسیم می‌شوند. آبگیرهای مستقیم با امکان تأمین دبی های بالا، در سطح وسیع‌تری در صنایع ساحلی بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آبگیرها خود براساس ساختار دهانه ورودی، به دو نوع آبگیرهای سطحی یا ساحلی^۳ و آبگیرهای عمقی یا فراساحلی^۴ طبقه‌بندی می‌شوند. در آبیگری سطحی، ورودی آبگیر در ساحل و در حوضچه آرامش (داخل موج‌شکن) در حاشیه دریا یا رودخانه ساخته می‌شود، درحالی‌که در آبگیرهای فراساحلی ورودی آبگیر معمولاً چند صد تا چندین هزار متر دور از ساحل قرار دارد. آبگیرهای غیرمستقیم نیز خود متشکل از چاه‌ها و گالری‌هایی زیرسطحی هستند که آب مورد نیاز را از طریق برداشت از آبخوان ساحلی یا گالری‌های تراوش تأمین می‌کنند. علی‌رغم کیفیت بالای آب استحصالی، آبگیرهای غیرمستقیم به دلیل محدودیت در تأمین دبی های بالا، تنها برای پروژه‌های کوچک و محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا در آب شیرین‌کن‌های متوسط و بزرگ، به دلیل کیفیت بالای آب مورد نیاز و اطمینان از عدم تخریب آبخوانهای ساحلی در درازمدت، عمدتاً از آبگیرهای مستقیم عمقی استفاده می‌شود [۱].

در آبیگری مستقیم اما به دلیل امکان مکش و جذب موجودات دریایی، رسوبات بستر و زباله‌های سطحی، لازم است مجموعه‌ای از اقدامات محیط زیستی مورد توجه قرار گیرد تا از عملکرد سازه‌های آبگیر در درازمدت اطمینان حاصل شده و از رخداد وقایع نامطلوب جلوگیری کرده و یا از شدت آن کاست [۲]. در شکل ۱ نمونه‌ای واقعی از یک کلاهک آبگیر نشان داده شده است که برای آبیگری مستقیم از دریا در حال نصب می‌باشد.



شکل ۱ - نصب کلاهک آبگیر برای آبیگری عمقی از دریا [۱]

اصلی‌ترین وظیفه مهندس طراح، پیش‌بینی نحوه کار و عملکرد تاسیساتی است که طراحی می‌کند. بررسی تأثیر وقایع روزانه و حدی در برداشت دراز مدت آب، بررسی تأثیر طوفانها، سیل و زلزله و جزر مدهای نجومی بر کارکرد سازه آبگیر و امکان جذب و بلعیده شدن جانداران و رسوبات دریایی به داخل آبگیر، از جمله مواردی است که در طراحی محیط زیستی آبگیرهای دریایی لازم است مورد توجه قرار گیرد.

ساخت‌وساز ساحلی اغلب موجب تغییرات فیزیکی در شکل خط ساحل و توپوگرافی کف دریا به صورت موقت یا دائم می‌گردد. این اثرات می‌تواند کوتاه‌مدت و یا درازمدت باشند. اثرات کوتاه‌مدت عموماً مربوط به فرایند ساخت و ساز (شمع کوی، لایروبی و لوله گذاری) بوده در حالیکه اثرات دراز مدت که پیش‌بینی آن دشوارتر است، ناشی از تغییرات دائمی در هیدرودینامیک جریان آب و رسوبات بوده و عمدتاً مربوط به دوره بهره‌برداری می‌باشند. هرچند مهمترین نگرانی در فرایند بهره‌برداری از آبگیرهای دریایی، حفظ کیفیت آب استحصالی و پرهیز از بلعیده شدن موجودات دریایی به داخل تاسیسات است که تضمین‌کننده کارکرد مناسب تاسیسات ساحلی می‌باشد. سرنوشت موجودات دریایی محل برداشت به طرح سازه آبگیر و ماهیت جانداران اعم از سن، نوع و ابعاد آبریان ساکن بستگی دارد. برخی از گونه‌های بزرگتر و مقاوم، ممکن است با برخورد با صافی‌ها توان فرار داشته و جان سالم به در ببرند، اما شانس زنده ماندن جانداران ریز و نابالغ بسیار کمتر است. موجودات بسیار ریز در صورت عبور از صافی‌ها تا ۱۰۰٪ از بین می‌روند در حالیکه با کاهش سرعت در دهانه آبگیر، می‌توان احتمال ورود مارها، ماهیها، خرچنگها و عروسه‌های دریایی را تا ۹۰٪ کاهش داد (Missimer et al, 2015).

احداث سازه آبگیر دور از مناطق با ارزش اکولوژیک و خارج از منطقه فعال ساحلی (فاصله حداقل ۳۰۰ متری از ساحل)، کاهش سرعت ورودی به کمتر از ۰/۱۵ m/s جهت جلوگیری از اصابت و گرفتادن آبریان، قرار دادن فیلتر در دهانه آبگیر جهت ممانعت از بلعیده شده موجودات بزرگتر و استفاده از درپوش سرعت در آبگیرهای عمقی جهت تبدیل سرعت عمودی به افقی (به دلیل قابلیت شنای افقی ماهی‌ها) از جمله روشهایی است که در نظرگرفتن آن جهت کاهش پیامدهای محیطی زیستی آبگیرهای عمقی توصیه شده است [۳و۲].

نوسانات تراز سطح آب دریاها و دریاچه‌ها که می‌تواند ناشی از فرایندهای هیدرولوژیکی، جزر و مدهای روزانه، فصلی و نجومی و نیز تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی زمین باشد، به عنوان یکی از پارامتر تأثیرگذار در عملکرد آبگیرهای عمقی شناخته می‌شود. انتظار می‌رود وقتی سطح آب در محدوده دهانه

عروس‌های دریایی) به داخل آبگیر، بیشینه سرعت در دهانه آبگیر می‌بایست محدود به 0.1 تا 0.15 متر بر ثانیه باشد [۷].

در آبگیرهای دریایی، جریان به صورت ثقیلی و به دلیل اختلاف ارتفاع سطح آزاد آب و حوضچه آبگیر جاری می‌شود. آب دریا نیز از طریق یک خط لوله یا تونل زیرزمینی به ساحل منتقل می‌شود. در این حالت میزان سرعت تابع افت‌های طول مسیر، افت در دهانه آبگیر و افت در اتصالات می‌باشد. نوسانات تراز آب و در نتیجه تغییرات اختلاف پتانسیل به دلیل وجود نوسانات اقلیمی و جزر و مدی در دریا، از مهم‌ترین پارامترهای درگیر در عملکرد آبگیرهای عمقی محسوب می‌گردد. تاکنون تصویر دقیقی از نقش این پارامتر در نحوه ارضای استانداردهای محیط زیستی در دهانه آبگیر ارائه نشده است. از اینرو بررسی اثر تغییرات تراز آب در طراحی آبگیرهای دریایی می‌تواند تصویری واضح از عملکرد این تاسیسات در اختیار مهندسان طراح قرار دهد. در سالهای اخیر در ایران و بسیاری از کشورهای ساحلی دنیا، اتکا به دریا برای تامین نیازهای آب شیرین در خشکی از طریق احداث پروژه‌های بزرگ نم‌زدایی بیشتر شده است. در این پروژه‌ها، تامین بلند مدت آب و پاسخگویی به نیازهای ۵۰ سال آینده بخشهای بزرگی از کشور هدف قرار داده شده است. به جهت اهمیت استراتژیک پروژه‌های تامین آب شرب، در این قبیل طرحها، حداقل ریسک در کارکرد نامناسب تاسیسات استحصال و نم‌زدایی آب مجاز دانسته شده است. این درحالیست که در طول عمر این تاسیسات، وقوع چند باره کشندهای حداکثر نجومی، طوفان، سونامی و نوسانات دراز مدت سطح آب دریا براهر رویدادهای هیدرولوژیکی و گرمایش جهانی زمین پیش بینی شده است.

۲- روش تحقیق

۱-۲- مدلسازی آزمایشگاهی

الگوی جریان در پیرامون آبگیرهای عمقی پدیده‌ای کمتر شناخته شده است. لذا مطالعات آزمایشگاهی که به آشکار سازی رفتار جریان در محدوده میدان نزدیک دهانه آبگیر بپردازد کمتر در دسترس می‌باشد. در این تحقیق به منظور شناسایی الگوی عمومی حرکت جریان در پیرامون کلاهی آبگیر نسبت به مدلسازی فیزیکی فرایند آگیری در آزمایشگاه اقدام شده است. برای این منظور تانکی به ابعاد 0.9 و 0.45 متر به ترتیب در جهت طول (X) و عرض (Z) با ارتفاع متغیر در جهت Y (با فرض راستای قائم مطابق بر محور Y) برای شبیه سازی فرایند آگیری، در نظر گرفته شده است. ارتفاع تانک 0.5 متر بوده که معرف حداکثر عمق دریا در نقطه آگیری است.

طرح سازه آبگیر برگرفته از نمونه واقعی یک آبگیر عمقی است که برای آگیری در تاسیسات نم‌زدایی شهر سیدنی استرالیا [۸]

آبگیر پایین باشد، این موضوع باعث اختلال در کارکرد از پیش تعیین شده آبگیرهای عمقی شود. از طرف دیگر بالا رفتن سطح آب نیز می‌تواند باعث تجاوز در مقدار برداشت پیش بینی شده آب شود. کاهش عمق با کاهش دبی برداشت آب و عدم تامین آب مورد نیاز برای شرایط طراحی همراه خواهد بود. از طرفی افزایش عمق، با افزایش دبی برداشت آب، باعث تجاوز از استانداردهای سرعت در مجاورت دهانه آبگیر و بستر دریا شده و بلعیده شدن موجودات آبی و رسوبات بستر را به همراه خواهد داشت. در این تحقیق از طریق توسعه مجموعه‌ای از مشاهدات آزمایشگاهی و یک مدل عددی، اثر تغییرات تراز آب محیط بر عملکرد آبگیرهای عمقی در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این زمینه، بررسی سابقه مطالعات علمی انجام شده در سطح دنیا و ایران بیانگر عدم انسجام و تعدد مطالعات جدی در ارتباط با طراحی آبگیرهای عمقی می‌باشد، هرچند اطلاعات پراکنده‌ای از مشخصات سازه‌ای و عملکرد هیدرولیکی و محیط زیستی آبگیرهای عمقی نیروگاه‌های ساحلی و پروژه‌های نم‌زدایی آب دریا در دسترس می‌باشد. در این زمینه بررسی مراجع Missimer et al. (2015) و Gude (2018) در ارتباط با ملاحظات فنی و محیط زیستی حاکم در طراح آبگیرهای دریایی پیشنهاد می‌گردد [۴۱].

در ایران در سال ۱۳۸۳ باقری و همکاران با استفاده از مدل فیزیکی آبگیر منطقه اقتصادی پارس در مقیاس $1:20$ به بررسی امکان افزایش برداشت آب دریا از این آبگیر سطحی پرداختند. در این سازه، آب دریا از طریق چهار لوله به صورت ثقیلی به حوضچه آبگیر منتقل شده و ۱۵ پمپ مستقر در قسمت انتهایی حوضچه، آب را به پالایشگاه پمپاژ می‌نمایند. در این تحقیق تأثیر متقابل پمپ‌ها و حداقل عمق استغراق آنها در شرایط مختلف بهره‌برداری، سرویس و نوسانات جزر و مدی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت جهت افزایش برداشت از حوضچه در زمان اجرای طرح توسعه، راه‌حلهایی ارائه گردید [۵]. کریستنسن و همکاران^۵ در سال ۲۰۱۴ با استفاده از یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی^۶ به مطالعه عملکرد هیدرولیکی دهانه مکش یک آبگیر عمقی از نوع Velocity cap پرداختند. آنها جریان در دهانه ورودی و داخل آبگیر را بررسی و حالت‌های مختلف را با استفاده از آنالیز ابعادی مقایسه و در پایان، طرح آبگیر پیشنهادی خود را ارائه نمودند [۵]. کریستنسن و همکاران تاکید نمودند که با توجه به حضور آبزیان در مجاورت دهانه آبگیرها و احتمال تصادم و یا بلعیده شدن آنها، لازم است حتما استانداردهای بیشینه سرعت در طراحی دهانه آبگیرهای عمقی لحاظ گردد. بر اساس استانداردهای موجود (USEPA, 2014)، به منظور ممانعت از ورود ماهی‌ها و آبزیان بزرگ (مارها و

در نظر گرفته شده است. به این ترتیب با توجه به حضور سطح آزاد و غالب بودن نیروهای اینرسی و ثقل، عدد فرود (Fr)، نماینده نیروهای حاکم در نظر گرفته شده است. در این حالت، با توجه به مقیاس هندسی (L_r)، مقیاس میان سرعت و دبی بین مدل و نمونه واقعی، به صورت زیر قابل استخراج است:

$$(Fr)_m = (Fr)_p \rightarrow \frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{gL_p}} \rightarrow \frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{L_m}{L_p}} \rightarrow V_r = \sqrt{L_r} \quad (5)$$

$$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = (L_r)^{2.5} \quad (6)$$

۲-۲- مدلسازی عددی و معادلات حاکم

امروزه با پیشرفت فناوری، شبیه‌سازی فرایندهای طبیعی و پیش‌بینی رفتار جریان در حالات مختلف با استفاده از انواع مدل‌های کامپیوتری امکان‌پذیر شده است. به این ترتیب، با استفاده از مدل‌های کامپیوتری می‌توان فرایند آبیگری را شبیه‌سازی و تأثیر هندسه‌های پیچیده و تغییرات تراز آب دریا بر عملکرد سازه‌های آبیگر را ارزیابی نمود. در این حالت مدلسازی باید به نحوی صورت گیرد که نتایج آن قابل تعمیم به نمونه اصلی و شرایط واقعی باشد. از این رو انتخاب مناسب شرایط مرزی و معادلات حاکم بر فیزیک جریان، امری ضروری محسوب می‌گردد.

معادلات حاکم بر مکانیک سیالات، روابطی هستند که به صورت مستقیم از قوانین بقای جرم و نیرو ناشی می‌شوند. این معادلات، معادله بقای جرم، معادلات بقای مومنتم، معادله بقای انرژی در صورت لزوم و معادلات کسر حجمی سیال می‌باشند [۱۱].

در این تحقیق از مدل VOF^۲ (روش حجم سیال) برای شبیه‌سازی جریان دو فاز (آب و هوا) استفاده شده است. این روش، یک تکنیک تعقیب سطح است که به یک شبکه اویلری اعمال می‌شود و می‌تواند دو یا چند سیال مخلوط نشدنی را با حل معادلات مومنتم و ردیابی کسر حجمی هر یک از سیالات، در سرتاسر میدان محاسباتی مدل نماید. در واقع مدل VOF اولین مدل پرکاربرد برای شبیه‌سازی جریان‌های دو فاز است. کاربردهای این مدل شامل شکست جت، حرکت حباب‌های بزرگ در یک مایع، حرکت مایع بعد از شکست سد و ردیابی هر نوع فصل مشترک گاز-مایع است. عموماً کاربرد این مدل برای شبیه‌سازی سطح اشتراک دو سیال می‌باشد. این نکته قابل ذکر است که اگر دو فاز مسئله مورد نظر به صورت گازی باشد، استفاده از روش VOF کارایی نخواهد داشت. روش VOF اولین بار توسط هرت و نیکولز [۱۱] پیشنهاد گردیده است. در این روش یک تابع اسکالر بین صفر و یک به نام تابع کسر حجمی تعریف شده که برای تشخیص هر یک از دو فاز از

طراحی و ساخته شده است. در شکل ۲ جانمایی کلاهک آبیگر در کف تانک آزمایش و ابعاد مدل سازه آبیگر آورده شده است. جهت محدود نمودن حرکت آبیان، رشد صدف‌ها و تجمع زباله، فاصله بین میله‌های آبیگر طوری طراحی شده تا سطح مقطع عبوری از کلاهک آبیگر به میزان ۵۰ درصد کاهش یابد.

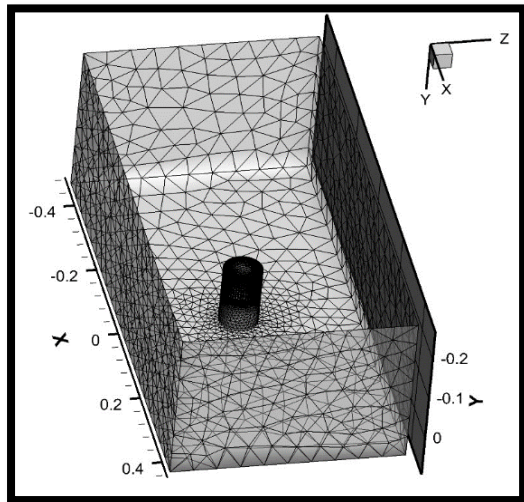


شکل ۲- جانمایی کلاهک آبیگر در کف تانک آزمایش و ابعاد سازه مدل آبیگر مورد مطالعه در این تحقیق (در مقیاس ۱:۴۰)

به منظور برقراری تشابه دینامیکی بین نمونه آزمایشگاهی و واقعی دو نیروی ثقل و لزجت به عنوان نیروهای موثر شناسایی شده اند. نیروی ثقل ناشی از اختلاف پتانسیل آب، نیروی اصلی حاکم بر تخلیه جریان از دهانه آبیگر می‌باشد [۹]. به دلیل سرعت پایین جریان در دهانه آبیگر، رژیم جریان در محدوده لایه ای تا انتقالی قرار دارد، از اینرو نمی‌توان از تأثیر نیروی لزجت به طور کامل صرف‌نظر کرد. برای برقراری کامل تشابه دینامیکی، پیدا کردن مایع دارای لزجت مورد نیاز، عملاً غیرممکن است. در ادبیات فنی برای فرار از بم بست، مسائل اینچنینی با کمک قانون فرود و با استفاده از روابط تجربی حاکم بر آن شبیه‌سازی می‌کنند [۹ و ۱۰].

مقیاس هندسی برای مدلسازی این آبیگر در ابعاد کوچک $L_r = \frac{1}{40}$ و روش برداشت آب مشابه حالت واقعی به صورت ثقلی

دلیل وجود سازه آبگیر درون دامنه محاسباتی، شبکه‌بندی به شکل غیر سازمان‌یافته و مثلثی^۹ در فضای داخل و خارج دهانه آبگیر انجام شده است. همچنین به منظور افزایش دقت مدل، اندازه سلول‌های محاسباتی در اطراف دهانه آبگیر کوچک‌تر در نظر گرفته شده است (شکل ۳).



شکل ۳- نمایی کلی از هندسه و شبکه‌بندی مدل

با هدف شبیه‌سازی عددی فرایند آگیری، در این پژوهش یک حجم مکعب مستطیل از سیال (عینا مشابه تانک آزمایش) برای مدل‌سازی محیط دریا -از بستر تا سطح آب- در نظر گرفته شده است. در کف این تانک (بستر دریا)، سازه آگیری قرار داده شده است. جریان در مدل به صورت غیرماندگار^{۱۰}، آشسته، سه‌بعدی، دو فاز (آب و هوا) و تراکم‌ناپذیر شبیه‌سازی شده است. شرایط مرزی، متغیرهای جریان را روی مرزهای دامنه محاسباتی مشخص می‌کند. مرزهای اطراف و کف مکعب به صورت wall و مرز منطبق بر سطح آزاد در بالا و نقطه خروجی آب، هر دو pressure-outlet در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به وجود سطح آزاد در بالا و خروج آب از آبگیر به محیط باز، فشار نسبی^{۱۱} صفر در نظر گرفته شده است. به این ترتیب آب با خروج از مجرای تحتانی از محدوده حل خارج می‌شود. در شکل ۴، پارامترهای تأثیرگذار در مدل‌سازی اعم از عمق محیط، ارتفاع آبگیر و قطر اجزای مختلف دهانه آبگیر، نمایش داده شده است:

آن استفاده می‌شود. به این ترتیب معادلات حاکم برای مساله دو فاز مورد مطالعه به صورت زیر خواهد بود:

۱- معادله بقای جرم

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

در این رابطه چگالی و نیز لزجت به صورت رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} \rho &= C\rho_l + (1-C)\rho_g \\ \mu &= C\mu_l + (1-C)\mu_g \end{aligned} \quad (2)$$

اندیس‌های l و g به ترتیب به لزجت مایع و گاز اشاره دارند. از طرفی C یک پارامتر اسکالر است و مقدار بین ۰ تا ۱ دارد. اگر سلول حاوی سیال مایع باشد C=1 و اگر حاوی سیال گاز باشد C=0 است. سلول‌هایی با مقدار C بین ۰ و ۱، سطح مشترک مایع و گاز را تشکیل می‌دهند.

۲- معادله بقای مومنتم خطی

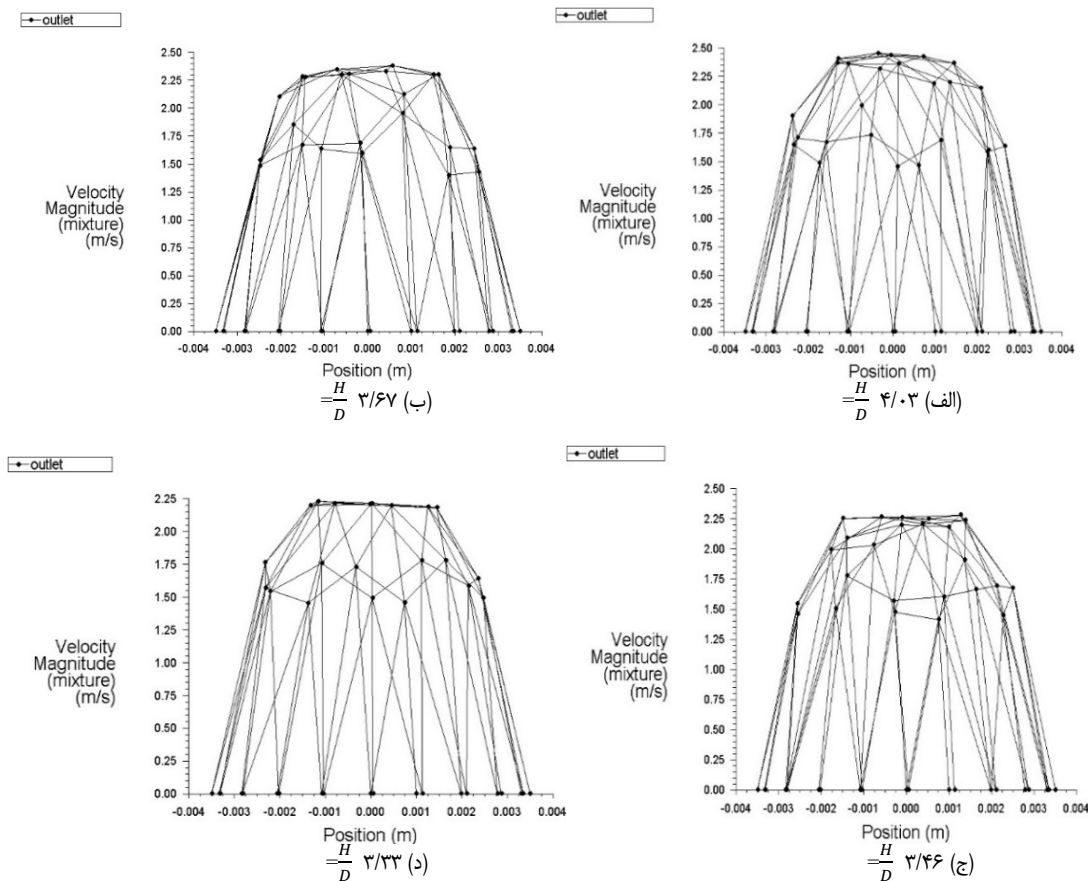
$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 V + F_s + F_g \quad (3)$$

در این رابطه F_s نیروی کشش سطحی و F_g نیروی حاصل از گرانش می‌باشد.

۳- معادله جابه‌جایی کسر حجمی

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (CV) = 0 \quad (4)$$

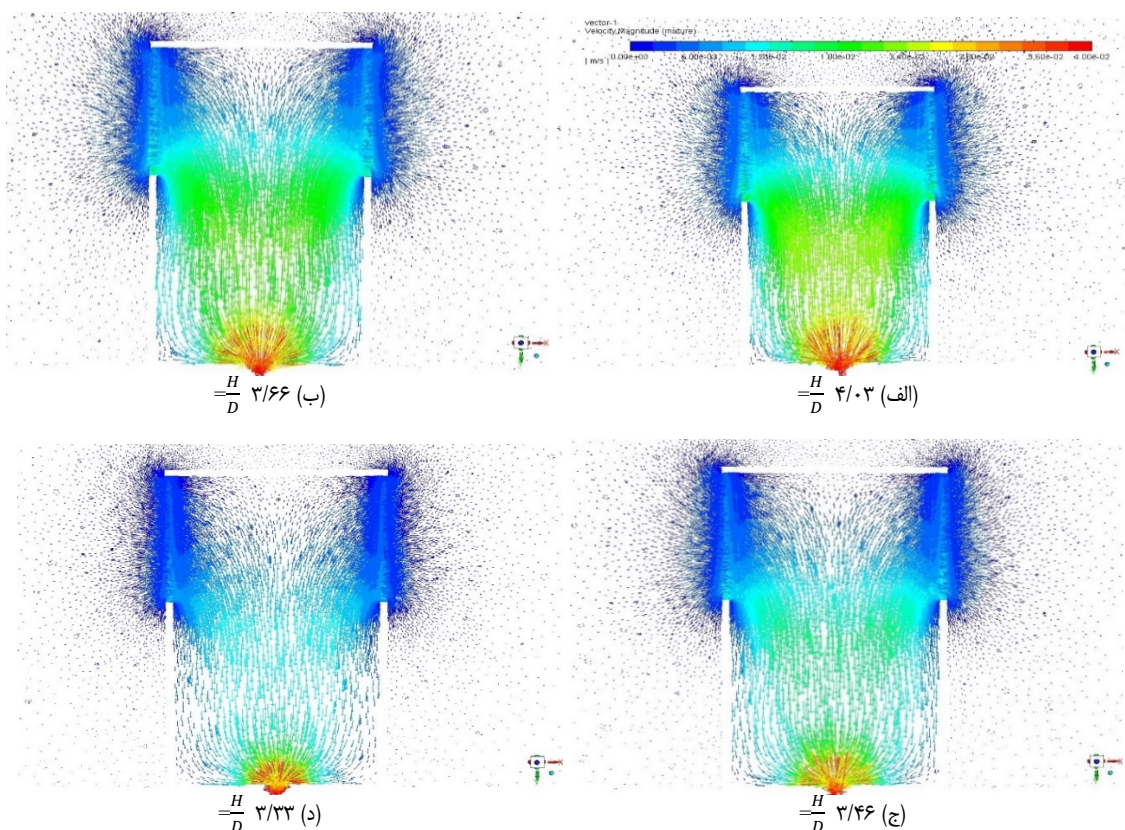
در این تحقیق از توانایی‌های مدل Ansys Fluent برای شبیه‌سازی دهانه آبگیر استفاده شده است. در حل مسائل CFD، گام نخست شبیه‌سازی هندسه جریان است. برای تعریف هندسه می‌توان از بخش DesignModeler میزکار فلوئنت و یا سایر نرم‌افزارها به منظور تولید هندسه استفاده کرد. یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد در زمینه ساخت هندسه، نرم‌افزار سالیدورکز (SolidWorks) است که در مسئله حاضر از آن استفاده شده است. در انسیس فلوئنت به منظور کاهش زمان مورد نیاز در تولید شبکه می‌توان از شبکه‌های بدون سازمان استفاده نمود. به این ترتیب امکان مدل‌سازی هندسه‌های پیچیده‌تر میسر شده و در عین حال می‌توان از ویژگی تطبیق شبکه^۸ به منظور حل میدان جریان بهره برد. انسیس فلوئنت همچنین می‌تواند از شبکه‌های بلوک‌بندی شده‌ی سازمان‌یافته استفاده کند. انعطاف‌پذیری این نرم‌افزار در اجرای انواع المان، کاربر را قادر می‌سازد تا به منظور انجام پروژه، بتواند شبکه‌ی متناسب با ساختار مسئله مورد نظر را انتخاب نماید. برای شبکه‌بندی مدل سه‌بعدی حاضر از محیط ماشینگ نرم‌افزار فلوئنت (Fluent Meshing) استفاده شده است. در این مطالعه به



شکل ۶ - پروفیل سرعت در مجرای خروجی آبگیر با کاهش ارتفاع آب

حالت برابر 0.25 m/s است که با توجه به رابطه (۵) و مقیاس $\sqrt{Lr}$ بین سرعت در مدل و نمونه واقعی، در شرایط واقعی آبگیری برابر خواهد بود با 0.158 m/s که فراتر از استانداردهای توصیه شده است. به این ترتیب آشکار است افزایش سطح آب دریا، ارضای معیارهای محیط زیستی را با مشکل مواجه ساخته و پیامدهای برداشت آب به بلعیده شدن و گیرکردن بیشتر آبزیان در دهانه آبگیر منجر خواهد شد.

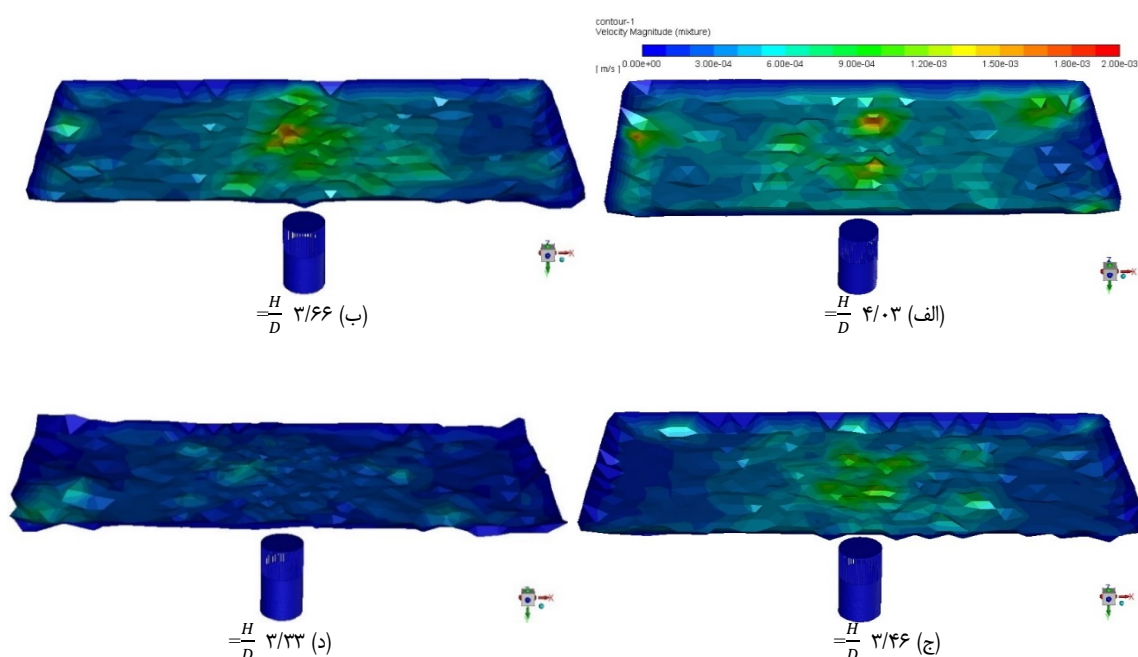
در شکل ۷، تغییرات سرعت در مجاورت دهانه آبگیر در عمق‌های مختلف آبگیری آورده شده است. همانطور که انتظار می‌رود با کاهش عمق آب، دبی و پیرو آن سرعت در دهانه و فضای داخل آبگیر کاهش می‌یابد. در ادامه تاثیر نوسانات عمق بر تغییرات سرعت مکش و اختلال در سیستم آبگیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. شرایط مدلسازی و نتایج به دست آمده برای مدل‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، حداکثر سرعت در دهانه آبگیر برای مدلی با بیشترین عمق ($H = 32 \text{ cm}$) وقتی نسبت $\frac{H}{D} = 4/36$ مشاهده شده است. مقدار حداکثر سرعت دهانه آبگیر در مدل کوچک مقیاس در این



شکل ۷ - تغییرات سرعت در اطراف سازه آبگیر و مجرای تختانی با کاهش ارتفاع آب

که مشاهده می‌شود، کاهش عمق آب طی رخدادی مانند جزر یا فرایندهای هیدرولوژیکی (مشابه کاهش ارتفاع آب در دریای خزر)، موجب کاهش دبی آگیری می‌شود. این حالت اگرچه ممکن است اهداف طراحی در تامین ایمن نیاز صنایع ساحلی را با مشکل مواجه سازد اما به کاهش سرعت جریان در سطح دریا و کاهش ریسک بلعیده شدن زباله های شناور منتج خواهد شد.

بلعیده شدن انواع جلبکها و زباله های شناور سطح آب به داخل آبگیر در شرایط وقوع طوفان، حضور زباله های ناشی از سیلاب حوزه آبریز در دریا و شکوفایی جلبکی می تواند به اختلال در کارکرد سیستم آگیری، گرفتگی فیلترها و عملکرد آشغالگیرهای ساحلی منتج شود. در شکل ۷، مقادیر سرعت در مجاورت سطح آب برای عمق‌های مختلف آب محیط، آورده شده است. همانطور

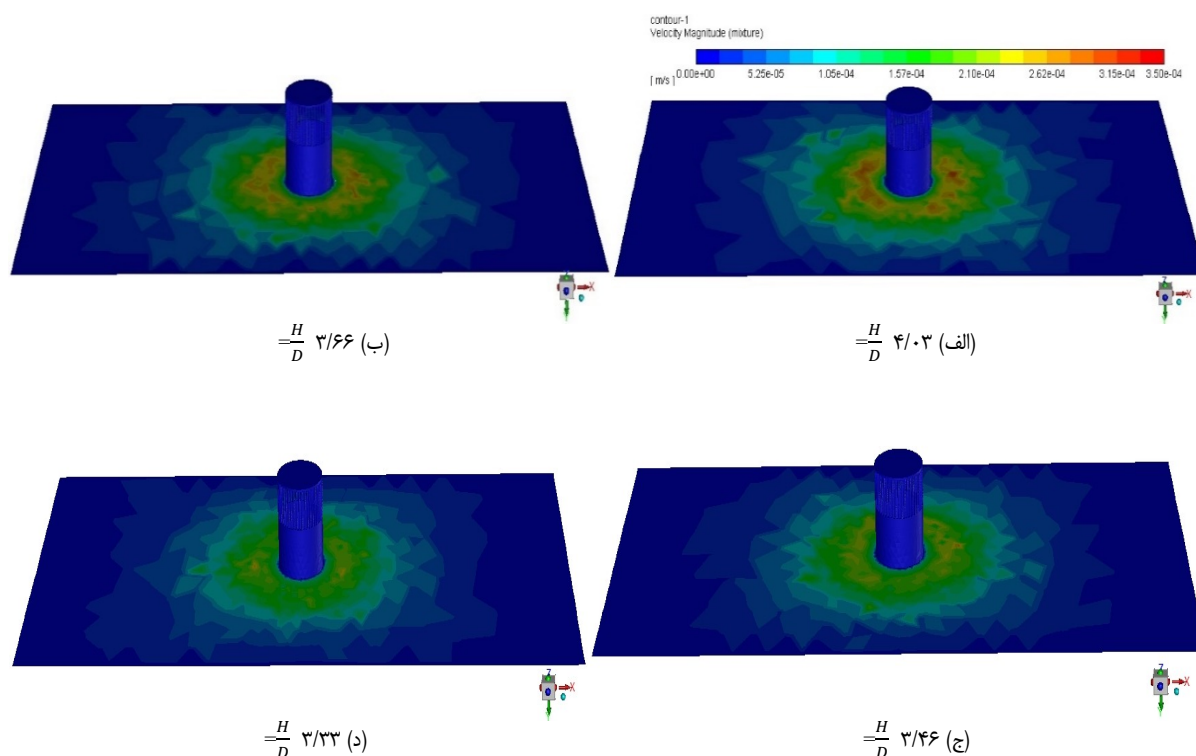


شکل ۸ - کانتورهای سرعت در سطح آب دریا با کاهش ارتفاع آب

مختلف شبیه‌سازی آورده شده و مقادیر آن در مقیاس واقعی با توصیه‌های موجود مقایسه شده است. استانداردهای حاضر برای طراحی آبگیرهای عمقی، جهت ممانعت از ورود ماهی‌ها و آبزیان شناور (لاکپشته‌ها و عروس‌های دریایی)، سرعت در دهانه آبگیر را به ۰/۱ تا حداکثر ۰/۱۵ متر بر ثانیه محدود کرده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که کاهش عمق آبگیری (عمق تراز میانگین آب تا بالای کلاهک آبگیر یا همان h') در حالت جزر تا ۱۲/۲۵ سانتی‌متر (۴/۹ متر در شرایط واقعی) و افزایش عمق آبگیری در حالت مد تا ۱۷/۵ سانتی‌متر (۷ متر در شرایط واقعی)، می‌تواند این محدوده سرعت را ارضا کند. در واقع مقادیر حاصل از شبیه‌سازی حاضر نشان می‌دهند که عمق بهینه تراز میانگین آب تا بالای کلاهک آبگیر در شرایط واقعی باید بین ۴/۹ تا ۷ متر باشد. در این محدوده می‌توان اطمینان حاصل کرد با ارضای استانداردهای طراحی، تعداد نکتونهایی که در پیکره آبی ممکن سیستم آبگیر بلعیده شده یا در آن گیر می‌افتند به حداقل ممکن می‌رسد. همچنین حداقل میزان رسوبات بستر و زباله‌های شناور به داخل مجرای آبگیر مکیده خواهند شد. این موضوع در درازمدت بهره‌برداری از سازه آبگیر و تامین آب با کیفیت توسط آن را تضمین خواهد نمود [۱۴ و ۱۵].

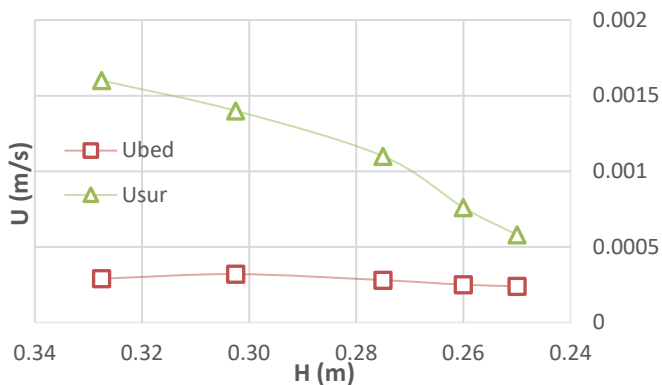
در شکل ۹ تغییرات سرعت محیط در نزدیکی بستر ناشی از تغییرات ارتفاع آب نشان داده شده است. این مقادیر نشان می‌دهند که کاهش عمق آب و پیرو آن کاهش دبی برداشت موجب کاهش سرعت در مجاورت بستر خواهد شد. میزان این کاهش البته کمتر از تأثیر آن بر سرعت در دهانه آبگیر است. در خارج از محدوده شکست امواج در ساحل، رسوبات معلق همچنان وجود خواهند داشت اما تمرکز غلظت رسوبات در نزدیک بستر خواهد بود. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌گردد، با کاهش عمق آبگیری، تأثیر سرعت جریان در بلند کردن رسوبات در مجاورت بستر کاهش می‌یابد. در صورتی که رسوبات منطقه ریزدانه باشند، یافتن محلی با غلظت کمتر، اهمیت دوچندان یافته چراکه این رسوبات می‌توانند با حداقل تنش برشی ناشی از برداشت آب به راحتی بلند شده و به داخل تأسیسات وارد شوند و کارکرد واحدهای نمک‌زدایی را با اختلال جدی مواجه سازند. از اینرو علاوه بر انتخاب موقعیت آبگیر، تعیین ارتفاع مناسب آبگیری از بستر دریا به نحوی که رسوبات معلق شانس کمتری برای ورود به تأسیسات آبگیری داشته باشد نیز حائز اهمیت است. متغیری که بررسی آن نیاز به مطالعات مبسوطی دارد.

در جدول ۱ به منظور مقایسه کمی نتایج، مقادیر سرعت بیشینه بدست آمده در مجاورت سطح، دهانه آبگیر و بستر برای حالات



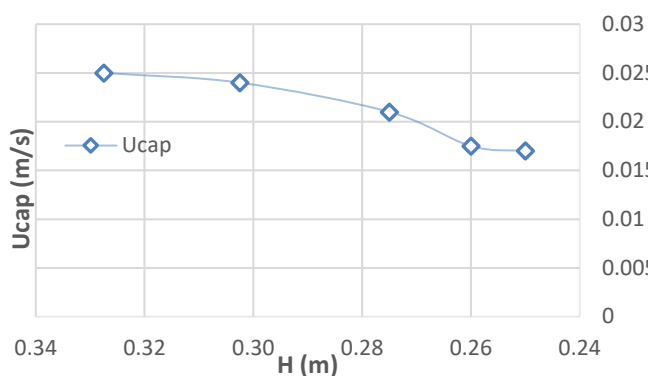
شکل ۹ - تغییرات سرعت در بستر دریا با کاهش ارتفاع آب

به منظور ارایه تصویری کمی از نحوه تغییر پارامترهای طراحی با نوسانات عمق محیط، مقادیر بدست آمده برای سرعت جریان در نقاط مختلف به صورت نمودارهای شکل ۱۰ و ۱۱ ترسیم شده است. در این نمودارها، شیب متفاوتی برای تغییرات کاهنده سرعت جریان در دهانه آبگیر، مجاورت بستر و سطح آب دریا به ازای کاهش عمق محیط مشاهده می گردد. همچنین به روشنی مشاهده می شود که تأثیر تغییرات ارتفاع آب در دهانه آبگیر بیشتر از تأثیر آن در سطح و بستر دریا است.



شکل ۱۰ - نمودار تغییرات بیشینه سرعت جریان در سطح آب و مجاورت بستر نسبت به عمق آبریزی

در رهنمودهای طراحی آبگیرها [7,8] تأکید شده است که فاصله بین دهانه آبگیر تا بستر دریا به منظور جلوگیری از بلند شدن رسوبات بستر و ورود آن‌ها به داخل سازه آبگیر باید حداقل ۳ متر باشد. نمودار شکل ۱۲ نشان می‌دهد که با افزایش دبی برداشت، سرعت در مجاورت این رسوبات نیز افزایش خواهد یافت. لذا علاوه بر انتخاب موقعیت آبگیر، تعیین ارتفاع مناسب آبگیری از بستر دریا متناسب با نوع رسوبات موجود به نحوی که رسوبات بستر شانس کمتری برای ورود به تأسیسات آبگیری داشته باشند نیز حائز اهمیت است. این تاثیر اما برای سرعت جریان در مجاورت سطح بسیار بیشتر است. این موضوع بیانگر ریسک بالای بلعیده شده زباله‌های شناور با افزایش دبی در آبگیرهای عمقی است.



شکل ۱۲- نمودار تغییرات بیشینه سرعت جریان در دهانه آبگیر نسبت به عمق آبریزی

به منظور بی‌بعدسازی پارامترهای درگیر، نتایج حاصل از جدول ۱ با استفاده از آنالیز ابعادی نرمال و به نمودارهای بی‌بعدی مشابه

[illegible]

جدول ۱ - مقایسه سرعت در دهانه آبگیر، مجاورت سطح و نزدیک بستر در عمق‌های مختلف آبگیری در مدل کوچک مقیاس شبیه‌سازی شده و شرایط واقعی

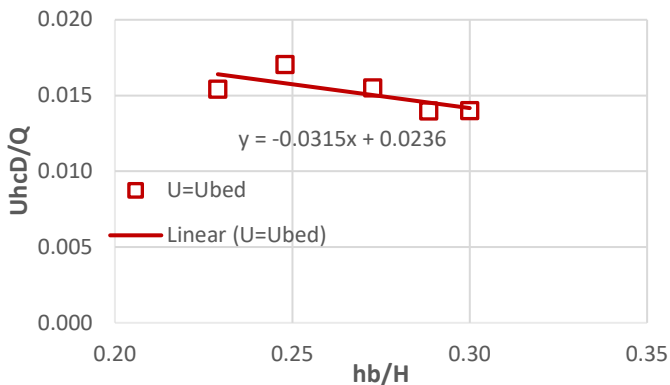
سرعت جریان در سطح آب دریا، سرعت در مجاورت بستر و دهانه آبرگیر ارائه نمود:

$$\frac{U_{Sur} h_c D}{Q} = 0.0588 \left(\frac{H}{D} \right) - 0.1602 \quad (9)$$

$$\frac{U_{cap} h_c D}{Q} = 0.4521 \left(\frac{H}{D} \right) - 0.5359 \quad (10)$$

برای سرعت در نزدیکی بستر، متفاوت از حالت بالا، پارامتر h_b یا فاصله دهانه آبرگیر تا بستر را می‌توان به عنوان متغیر مستقل تأثیرگذار در نظر گرفت. در این صورت برای سرعت در مجاورت بستر خواهیم داشت:

$$\frac{U h_c D}{Q} = f\left(\frac{h_b}{H}, \frac{h_c}{D}\right) \quad (12)$$



شکل ۱۴ - نمودار بی بعد بیشینه سرعت جریان در مجاورت بستر نسبت به

تغییرات ارتفاع آب ($\frac{h_c}{D} = 0.66$)

از نمودار فوق می‌توان رابطه خطی زیر که بیانگر نحوه تغییرات سرعت جریان در مجاورت بستر است را استخراج نمود:

$$\frac{U_{bed} h_c D}{Q} = -0.0631 \left(\frac{h_b}{H} \right) + 0.0326 \quad (13)$$

روابط تجربی فوق، برآورد پارامترهای مورد نظر در فاز اولیه طراحی را بدون نیاز به مدلسازی ممکن می‌سازند و می‌تواند در ارائه طرح اولیه آبرگیرها به نحوی که معیارهای محیط زیستی را برآورده سازند، مورد استفاده قرار گیرد.

بی شک شبیه سازی کامل فرایند آبرگیری در قدم اول نیازمند به مدلسازی محدوده میدان دور از منظر شکل جریان، امواج و رژیم انتقال رسوب در منطقه می باشد. با مکانیابی اولیه و تعیین پارامترهای محیط، در نهایت مدلسازی میدان نزدیک جریان به منظور اطمینان از عملکرد هیدرولیکی و محیط زیستی سازه آبرگیر

شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ تبدیل گردیده است. در این حالت سرعت در دهانه آبرگیر (U_{cap})، مجاورت بستر (U_{bed}) و نزدیک سطح آب (U_{sur}) را می‌توان تابعی از متغیرهای مستقل جریان به شرح زیر عنوان نمود:

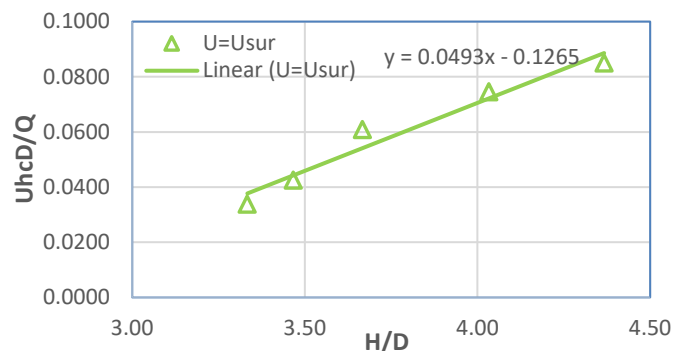
$$U_{cap} = f(Q, H, h_c, d, D)$$

$$U_{Surface} = f(Q, H, h_c, d, D) \quad (7)$$

$$U_{bed} = f(Q, H, h_c, h_b, d, D)$$

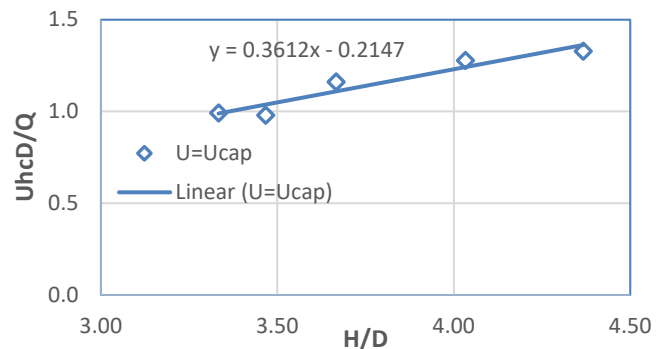
در رابطه (۷)، h_c و h_b به ترتیب ارتفاع دهانه آبرگیر (مجرای غربال) و فاصله کف دهانه آبرگیر تا بستر محیط می‌باشد. در این حالت رابطه $h = h_b + h_c$ که در آن h ارتفاع آبرگیر از بستر است، برقرار می باشد. در این حالت با توجه به اصول حاکم در بی بعدسازی و مطابق پیشنهاد کریستنسن و همکاران (۲۰۱۴)، متغیرهای وابسته جریان در سطح و دهانه آبرگیر را می‌توان به صورت زیر، تابعی از متغیرهای مستقل عنوان نمود [۴]:

$$\frac{U h_c D}{Q} = f\left(\frac{H}{D}, \frac{h_c}{D}\right) \quad (8)$$



شکل ۱۲ - نمودار بی بعد بیشینه سرعت جریان در سطح آب نسبت به تغییرات

ارتفاع آب ($\frac{h_c}{D} = 0.66$)



شکل ۱۳ - نمودار بی بعد بیشینه سرعت جریان در دهانه آبرگیر نسبت به

تغییرات ارتفاع آب ($\frac{h_c}{D} = 0.66$)

با ترسیم پارامترهای نرمال شده در قالب نمودارهای بی بعد، می‌توان روابطی خطی به ترتیب زیر برای پیش بینی نحوه تغییرات

براساس استانداردها و موازین علمی موجود ضروری غیرقابل اجتناب می باشد که از طریق روابط تجربی و یا مدلهای عددی میدان نزدیک به شرح آنچه اشاره شده قابل دستیابی است.

۴- نتیجه گیری

استفاده از آبگیرهای دریایی جهت تامین آب مورد نیاز صنایع ساحلی همواره مورد توجه بوده است [16]. در این میان، استفاده از آبگیرهای عمقی به دلیل کیفیت بهتر آب استحصالی و ریسک پایین تر در تامین آب مورد نیاز، در صنایع نمکزدایی آب دریا بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. استفاده از این تاسیسات با ملاحظات فنی و محیط زیستی بسیاری همراه است [17]. امکان بلعیده شده موجودات دریایی، زباله های شناور و رسوبات کف از جمله مواردی است که استفاده از این تاسیسات را تحت شعاع خود قرار می دهد. در این زمینه توصیه ها و استانداردهایی توسط منابع مختلف بالاخص سازمان حفاظت محیط زیست امریکا ارائه شده است [7]. در این رهنمودها تبدیل سرعت عمودی به افقی و محدوده کردن سرعت مکش در دهانه آبگیر به 0.15 m/s با استفاده از کلاهک آبگیر مورد تاکید قرار گرفته است. مهندس طراح با جانمایی درست آبگیر به دور از مناطق حساس محیط زیستی (آب سنگها مرجانی، مانگروها، خورها و مناطق حفاظت شده) و طراحی مناسب دهانه آبگیر می تواند استانداردهای سخت گیرانه موجود را ارضا و در مقیاس دراز مدت و به صورت پایدار اقدام به برداشت آب با کیفیت مناسب از عمق دریا نماید. در این زمینه ارزیابی بیشینه سرعت جریان در سطح آب، مجاورت بستر و دهانه آبگیر به منظور اطمینان از عملکرد مطلوب و محیط زیستی آبگیر در فرایندهای طراحی امری ضروری تلقی می گردد. این امر معمولاً از طریق انجام مطالعات عمیق آزمایشگاهی و بکارگیری روش های نوین مدلسازی کامپیوتری امکان پذیر است. در این مطالعه با مدلسازی عددی دینامیک جریان سیال در حالات مختلف تأثیر نوسانات آب در عملکرد سازه های آبگیر عمقی مورد مطالعه قرار گرفته است. در نتیجه روابط تجربی حاکم بر رفتار جریان به ازای تغییرات عمق آب در محل آبگیر به شکل بی بعد استخراج گردید. این روابط می تواند در طراحی آبگیرهای عمقی و جهت بررسی تأثیر نوسانات ارتفاع در عملکرد محیط زیستی آنها مورد استفاده قرار گیرد.

در ایران در سالهای اخیراً استفاده از آب شور دریا جهت تامین نیازهای شرب و صنعت در مناطق ساحلی و حتی استانهای دور از ساحل، بسیار مورد توجه مدیران عرصه آب قرار گرفته است. احداث آب شیرین کنی با تولید ۷ مترمکعب در ثانیه در ساحل دریای خزر در مجاورت منطقه فرح آباد ساری و سه فاز از آب شیرین کنهای ۱۳ مترمکعبی در دریای عمان در مجاورت شهر

چابهار نمونه ای از این تاسیسات می باشد. دریای خزر مشابه برخی از پهنه های آبی بزرگ از قبیل دریای بالتیک، دریای سیاه و دریای مدیترانه، دوره های تشدید طبیعی سازگار با نیروهای جزر و مدی ندارد. از همین رو واکنش شدیدی به این نیروها نشان نداده و جزر و مد چندانی ندارد، لذا تغییرات کشندی در آن محدود و در مقیاس چند سانتیمتر است. کوچکی جزر و مد (بیشینه کشند 0.3 متر) در این پهنه آبی، تأثیرات اندکی بر جریان در دهانه آبگیر به همراه خواهد داشت. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، این حد از نوسان موجب اختلالی در سیستم آبگیری و عملکرد محیط زیستی آن نخواهد شد. اما تأثیر نوسانات آب این دریاچه بزرگ ناشی از کاهش ورود آب از رودخانه های شمالی و افزایش تبخیر آن در پهنه جنوبی مساله ای دیگر است که می تواند در دراز مدت فرایند آبگیری در این تاسیسات را با مشکلات جدی مواجهی سازد.

در حوزه خلیج فارس و دریای عمان جزر و مد نامنظم بوده و از شرق به غرب آن بیشتر می شود به نحویکه در برخی مقاطع به بیش از $3/5$ متر هم می رسد. با توجه به نتایج حاضر، این میزان از نوسانات سطح آب در بازه درازمدت (وقوع نوسانات ۱۹ ساله کشند نجومی)، اختلال در عملکرد محیط زیستی آبگیرهای عمقی در این پیکره های آبی و بلعیده شدن آبریان پیرامون در این مواقع را به همراه خواهد داشت. لازم به ذکر است که تراز آب خلیج فارس و دریای عمان به دلیل عوامل هیدرولوژیک، تغییرات اقلیمی جهانی و تکنوژنیک در حال افزایش است. تعیین میزان دقیق این نوسانات و تأثیر آن بر عملکرد آبگیرهای دریایی نیازمند مطالعات بیشتری است که بررسی آن در مطالعات آتی مورد تاکید قرار می گیرد.

۵- کلید واژگان

1. Direct or Open Intakes
2. InDirect or Subsurface Intakes
3. Open Surface or Onshore Open Intake
4. Deep or Offshore Intakes
5. Christensen et al.
6. Computational Fluid Dynamics (CFD)
7. Volume of Fluid
8. Adapt Mesh
9. Curvature
10. Transient
11. Gauge Pressure
12. Particl Image Velocimetry

۶ - مراجع

- 14- Abessi, O., (2018). Brine Disposal and Management—Planning, Design, and Implementation. In Sustainable Desalination Handbook (pp. 259-303). Butterworth-Heinemann.
- 15- Abessi, O., Saeedi, M., Hajizadeh, Z.N., and Kheirkhah, G.H., (2011). *Waste field characteristics, ultimate mixing and dilution in surface discharge of dense jets into stagnant water bodies*. Water and Wastewater, Vol. 23 (181), p. 2-14.
- 16- Saeedi, M., Farahani, A.A., Abessi, O. and Bleninger, T., 2012. Laboratory studies defining flow regimes for negatively buoyant surface discharges into crossflow. *Environmental fluid mechanics*, 12(5), pp.439-449.
- 17- Abessi, Ozeair, Philip JW Roberts, and Varun Gandhi. "Rosette diffusers for dense effluents." *Journal of Hydraulic Engineering* 143, no. 4 (2017): 06016029.
- 1- Gude, G. ed., (2018). *Sustainable desalination handbook: plant selection, design and implementation*. Butterworth-Heinemann.
- 2- Missimer, T.M., Jones, B. and Maliva, R.G. eds., (2015). *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities: Innovations and Environmental Impacts*. Springer.
- 3- Baudish PA, Lavery HA, Burch RN, Pain DD, Franklin DG, and Banks PJ, (2011), *Design considerations and interactions for tunneled seawater intake and brine outfall systems*, IDA World Congress, Perth, Australia, September 4–9, 2011; 2011. REF: IDAWC/ PER11–242.
- 4- WRA, (2011), *Desalination plant intakes-impingement and entrainment impacts and solutions*, White Paper Alexandria, VA: WaterReuse Association (WRA); 2011.
- 5- Bagheri, M., Nassiri, M., and Ashrafi, M, (2004), *Study of Increasing the discharge capacity in Pars intake using physical model*. INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTS, PORTS AND MARINE STRUCTURES (ICOPMAS) PORTS & MARITIME ORGANIZATION.
- 6- Christensen, E., Eskesen, M., Buhrkall, J., & Jensen, B., (2014), Analyses of hydraulic performance of velocity caps, In 3rd International Association for Hydro-Environment Engineering and Research Europe Congress. Porto, Portugal.
- 7- USEPA (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*, Federal Register, Rules and Regulations, 79, 158.
- 8- Voutchkov, N, (2018), *Design and Construction of Open Intakes*, Sustainable Desalination Handbook (pp. 201-225), Butterworth-Heinemann.
- 9- Shafaei Bejestan, M. (2010). The principles and application of Physical-Hydrological models, Shahid Chamran University, Iran.
- 10- Roberts, P.J.W. and Abessi, O., (2014). *Optimization of desalination diffusers using three-dimensional laser-induced fluorescence*, Final report. United States Bureau of Reclamation, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- 11- Hirt C.W., and B.D. Nichols, (2002), *Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries*, J. Comp.Phys. Vol. 39, p. 201-225.
- 12- Rudman, M. (1997), Volume-tracking methods for interfacial flow calculations, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol. 24, p. 671–691.
- 13- Hajitabar, Mohamad, Abessi, Ozeair, Hamidi, Mehdi (2020), The effects of discharge variations in deep intakes, 2nd International Conference on Oceanography for West Asia, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, 16-17 September 2020.