

تحلیل میدان توزیع دما در مجاورت خروجی و ورودی نیروگاه حرارتی ساحلی (نیروگاه پره سر)

سیده صفورا صدیق مروستی^{۱*}، سعیدرضا صباغ یزدی^۲، امیر حسین جاوید^۳

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران؛ safoora.seddigh@gmail.com

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ SYazdi@kntu.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران؛ Ahjavid@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۲۹

تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:

NASIR

نیروگاه ساحلی

حجم محدود

توزیع دما

جانمایی صحیح آبگیر نیروگاه جهت عدم آلودگی از آب گرم تخلیه شده و در نتیجه افزایش راندمان از مهمترین مسائل در طراحی است. در این تحقیق مطالعات پخش گرما در نیروگاه پره سر با استفاده از شبیه سازی عددی انجام شده است. نرم افزار NASIR که تاکنون ماحولهای متنوع آن برای تحلیل کامپیوتری مسائل علمی و صنعتی مختلفی مثل جریانهای دریایی و ساحلی و یا جریان ناشی از ورودی رودها، تبخیر، چرخش زمین و باد بکار برده شده اند، میتواند برای تحلیل دمای آب در اثر شرایط مختلف زمانی و مکانی استفاده شود. این مدل برای یک نیروگاه نمونه با اعمال شرایط مرزی ورود جریان مناسب و جریان جت خروجی برای پیش بینی میدان دما در محیط آبی مجاور نیروگاه ارزیابی می شود. در این تحقیق آلودگی گرمایی ناشی از نیروگاه حرارتی پره سر با مدل فوق مورد بررسی قرار گرفته است و محدوده ای که تحت تأثیر آلودگی گرمایی قرار می گیرد با قوانین و استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست مقایسه می شود.

Analytical Evaluation of the Thermal Diffusion near the Intake/Outlet of a Coastal Thermal Power Plant (PARESAR Power Plant)

SeyedehSafoura Seddigh Marvasti^{1*}, Saeed Reza Sabbagh-Yazdi², Amir Hosein Javid³

¹ PhD Student, Faculty of Marine Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University; safoora.seddigh@gmail.com

² Associate Professor, Civil Engineering Department, KNTU Toosi University of Technology; SYazdi@computermail.net

³ Associate Professor, Marine Science Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University; Ahjavid@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 11 Dec. 2012

Accepted: 20 Aug. 2013

Available online: 22 Sep. 2013

Keywords:

NASIR

Coastal power plant

Finite volume

Diffusion equations

ABSTRACT

In this study, NASIR program is implemented to numerically simulate the temperature field near the intake/outlet of Paresar thermal power plant and assess the environmental provisions. According to low depth of coastal regions, two-dimensional depth-average governing equations and convection and temperature diffusion relationships are considered and solved by a finite volume method in NASIR program. Coastal boundary condition, currents and out-let discharges of the power plant are considered in the modeling and the performance of the numerical method is estimated in the coastal region near the thermal power plant to assess the excess water temperature. According to the current environmental provisions, the efficiency of the intake/outlet system is evaluated.

۱- مقدمه

شناخت و مطالعه مشخصات جریان در رودخانه‌ها و سواحل دریاها یکی از موضوعات مهم است که در طراحی انواع مختلف سازه‌های مرتبط با آنها و همچنین طرح‌های ساماندهی کاربرد دارد. یکی از مسائل مهم و کاربردی در حوزه جریانه‌های با سطح آزاد در سواحل و دریاها، مطالعه چگونگی پخش موادی است که از طریق سازه‌های دریایی وارد آب دریا می‌شوند. در این حالت یکی دیگر از عوامل مهم روی جریان‌های دریایی رفتار سیال با شناوری و اندرکنش آن با جریانه‌های دریایی است. از جمله موارد مشابه می‌توان به مسأله نیروگاه‌های حرارتی اشاره نمود. در نیروگاه‌های حرارتی، آب گرم خروجی سیستم خنک کننده نیروگاه توسط کانالی به عمق مورد نظر در دریا منتقل شده و سپس از طریق لوله‌های تعبیه شده تخلیه می‌گردد و سبب شکل‌گیری فرآیندی نسبتاً پیچیده از دیدگاه هیدرودینامیک می‌شود. حل دقیق این فرایند از چند جنبه مورد توجه است. در وهله اول به سبب وجود ضوابط محیط زیستی مرتبط با حداکثر افزایش دمای مجاز آب، اطلاع از میزان افزایش دمای آب برای برآورده ساختن این ضوابط مورد نیاز است. در وهله دوم اطلاع از مکانیزم دقیق برخورد آب خروجی از نیروگاه با آب پذیرنده برای محاسبه دقیق میزان کاهش دمای آب خروجی نسبت به آب ورودی برای به حداکثر رساندن راندمان نیروگاه، مورد نیاز است و از پارامترهای اصلی طراحی نیروگاه محسوب می‌گردد.

مدل سازی آلودگی حرارت در اطراف پخش‌کننده‌ها هم بصورت دوبعدی و هم بصورت سه بعدی می‌تواند صورت گیرد. با عنایت به کم عمق بودن منطقه مورد بررسی در این مطالعه، معادلات حاکم بر جریان به همراه معادله انتقال و پخش دما با بکارگیری مدل عددی دو بعدی نرم افزار ¹NASIR در صفحه افقی با بهره‌گیری از روش حجم محدود حل شده و بکار گرفته شده اند [۱]. در این تحقیق از آزمایش‌های که توسط کیم و سیو (۲۰۰۰) برای مطالعه خصوصیات اختلاط پخش‌کننده چند تایی انجام شده است استفاده گردیده و جوابها با نتایج آن مقایسه شده‌اند [۲].

۲- مروری بر مطالعات انجام شده

اغلب مقالات موجود در مورد این موضوع مربوط به مدلسازی عددی است که در آنها مطالعه آلودگی حرارتی در اطراف یک پخش‌کننده چند تایی هم بصورت دو بعدی و هم بصورت سه بعدی انجام شده است. در چند سال اخیر نگرش جدید به این موضوع باعث رشد تحقیقات در این زمینه شده است. همچنین بعضی افراد به صورت آزمایشگاهی در این مورد کار کرده‌اند. اما بررسی این موضوع به صورت اندازه گیری‌های میدانی بدلیل پیچیدگی زیاد آن، انجام نشده است.

اکثر تحقیقات انجام شده قبلی را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم نمود:

۱. مدلسازی عددی سه بعدی
۲. مدلسازی عددی دو بعدی در صفحه قائم
۳. مدلسازی عددی دو بعدی در صفحه افقی
۴. مطالعه به روش آزمایشگاهی

در زمینه مدلسازی عددی سه بعدی پلومهای گرمایی نیروگاهی، سو (۲۰۰۱) تحلیل عددی در میدان نزدیک با استفاده از نرم‌افزار سه بعدی کرمکس^۲ در میدان دور با استفاده از روش اجزای محدود (دو بعدی میانگین عمقی) انجام داده و با داده‌های اندازه‌گیری مقایسه نموده اند [۳]. جیانگ و همکاران (۲۰۰۲)، مدلسازی خروجی‌های خنک کننده آب از ایستگاهی در کانادا را با استفاده از یک نرم افزار سه بعدی با روش تفاضل محدود انجام داده و با داده‌های اندازه‌گیری مقایسه نمودند [۴]. شفیی فر و همکاران (۲۰۰۶)، مطالعات پخش حرارت در نیروگاه سیکل ترکیبی نکا را در میدان نزدیک با استفاده از نرم‌افزار سه بعدی فلونت^۳ و در میدان دور با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱^۴ انجام داده اند [۵]. در زمینه مدلسازی عددی دو بعدی در صفحه قائم و افقی، بوفن و همکاران (۲۰۰۶)، تحلیل عددی به روش تفاضل محدود انجام داده که مدل سازی آنها در صفحه قائم صورت گرفته است [۶]. عباس پور و همکاران (۲۰۰۵)، مدلسازی آلودگی حرارتی در مناطق ساحلی نیروگاه بندرعباس را با استفاده از نرم افزار دو بعدی مایک ۲۱ انجام داده اند [۷].

رزاقي (۱۳۷۸)، مدل دوبعدی پیش‌بینی توزیع حرارتی ناشی از نیروگاه اتمی بوشهر را با استفاده از روش تفاضل محدود ارائه داده است [۸].

در زمینه مطالعه به روش آزمایشگاهی، مندزدیاز و جیرکا (۱۹۹۶)، فلومی با مشخصات طول، عرض و عمق به ترتیب برابر ۰/۷۷، ۰/۸۸ و ۲۰ متر را در یک کانال دارای آب ساکن آزمایش نمودند که پخش‌کننده‌ها بصورت ارا به متحرک است که در طول کانال حرکت می‌کند. شیب خط مرکزی انواع پلوم و ثبت ویدیویی انواع پلوم‌ها از جمله پارامترهایی بود که موفق به اندازه گیری آن شدند [۹].

کیم و سیو (۲۰۰۰)، در تحقیقی با عنوان مدلسازی اختلاف آب گرم خروجی از پخش‌کننده‌های چندتایی مستغرق، فلومی با مشخصات طول، عرض و عمق به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۳/۵ و ۱۵ متر را با پخش‌کننده‌های چندتایی که شامل خروجی‌هایی در یک جهت و موازی است، را تهیه نموده و کنتورهای بدون بعد دمای سطحی را در شرایط های مختلف رسم نمودند [۲].

$$\frac{dz}{dx} = c_1 \frac{j_o^{1/3}}{u_a} \quad (۳)$$

که با توجه به رابطه F_a می توان نوشت:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{c_1}{F_a} \quad c_1 = 0.36 \quad (۴)$$

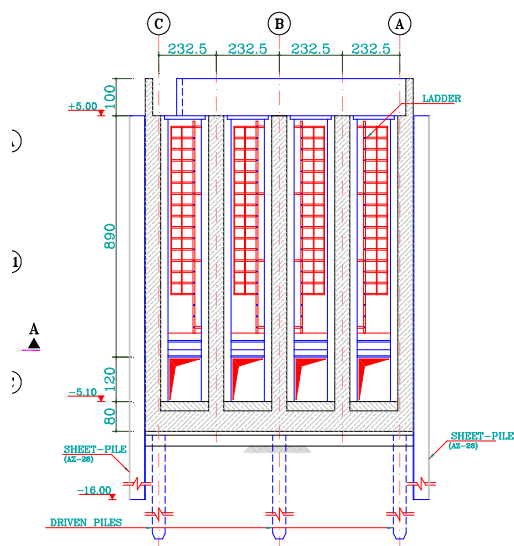
و در حالتی که پلوم انحراف زیاد است، سرعت خط مرکزی برابر است با :

$$u_c = \left(\frac{j_o}{u_a} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۵)$$

به همین ترتیب شیب خط برابر است با :

$$\frac{dz}{dx} = \frac{c_2}{F_a^{3/2}} \quad c_2 < 0.24 \quad (۶)$$

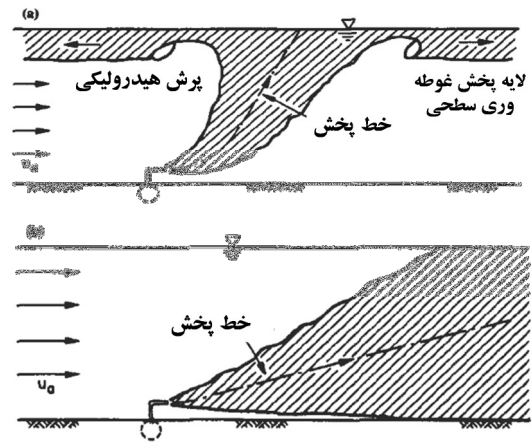
در نیروگاه پره سر خروجی ها مطابق شکل ۲ از ۴ دریچه به عرض ۰/۹ متر و ارتفاع ۱/۲ متر تشکیل شده اند.



شکل ۲- دریچه های خروجی آب نیروگاه

برای محاسبه عرض معادل پخشنده (B) لازم است که سطح پخشنده های منفرد با یک شکاف طولی معادل شوند بدین منظور سطح کل خروجی (A) باید بر طول پخشنده (L) تقسیم گردد تا عرض آن (B) بدست آید. بنابراین $A = 4 \times 1.2 \times 0.9 = 4.32$ و $B = \frac{A}{L} = 0.635$ خواهد بود.

اگر با توجه به روابط، پارامتر بدون بعد F_a را برای منطقه پره سر با فرض سرعت جریان محیط $u_a = 0.1 \text{ m/s}$ و سرعت جت خروجی $u_o = 5 \text{ m/s}$ محاسبه شود، $F_a = 0.1 / 0.068^{1/3} = 0.24$ و $j_o = 5 \times 0.021 \times 0.635 = 0.068$ شد. در این حالت، چون مقدار F_a از ۰/۶ کوچکتر است. لذا پلوم



شکل ۱- (a) پلوم با انحراف کم، (b) پلوم با انحراف زیاد [۲]

۳- انتخاب روش مدلسازی بر اساس فیزیک پلوم گرمایی

پخش سیال شناور به دو حالت جت منفرد یا پخشنده صورت می گیرد. اما همانطور که در جیرکا (۱۹۹۶) آمده است پلوم های حاصل از یکی شدن جت های منفرد به دو دسته طبقه بندی شده اند (شکل ۱) [۹].

پلوم هایی که انحراف آنها کم است ($F_a < 0.6$) و پلوم هایی که انحراف آنها زیاد است ($F_a > 1.0$). F_a عدد فرود است که هم به آب محیط و هم به آب جت خروجی مربوط می گردد:

$$F_a = u_a / j_o^{1/3} \quad (۱)$$

u_a سرعت جریان در کانال و j_o شار شناوری در واحد طول است که برابر است با $j_o = u_o g'_o B$ ، در این رابطه $g'_o = g(\rho_o - \rho_a) / \rho_a$ شتاب جاذبه مؤثر است که در آن ρ چگالی آب سیال خروجی و ρ_a چگالی آب داخل محیط است. u_o سرعت جت خروجی و B عرض معادل پخشنده است. در هر دو حالت خط مرکزی پلوم خط صافی است اما شیب آنها متفاوت بوده و با توابع مختلفی به F_a بستگی دارد. این موضوع از این حقیقت ناشی می شود که سرعت قائم پلوم ثابت و متناسب با $j_o^{1/3}$ است که منجر به یک مسیر با خط صاف می گردد. در حالت کلی شیب خط مسیر برای پلومی که با یک جریان محیطی u_a منحرف شده است از رابطه زیر بدست می آید :

$$\frac{dz}{dx} = \frac{u_c}{u_a} \quad (۲)$$

u_c سرعت خط مرکزی پلوم، Z محور قائم و u_a سرعت محیط در جهت افقی است.

برای حالت منحرف شده ضعیف سرعت خط مرکزی پلوم متناسب با $j_o^{1/3}$ و شیب خط بصورت زیر است:

المان‌های اندکی در محدوده میدان نزدیک قرار می‌گیرند و تعداد آنها در مقایسه با تعداد المان‌های محدوده میدان دور بسیار کمتر است از اثر این محدوده صرفنظر کرده‌ایم و کل میدان حل را بصورت دو بعدی و با استفاده از حل میانگین عمقی مدلسازی کرده‌ایم. همچنین با توجه به بررسی پارامتر بدون بعد F_a و تشخیص شکل پلوم گرمایی به این نتیجه می‌رسیم که میتوان منطقه مورد مطالعه را به دو محدوده میدان دور و نزدیک تقسیم بندی نکرد و کل محدوده را بصورت دوبعدی مدلسازی نمود.

۴- معادلات میانگین عمقی^۵

معادلات میانگین عمقی پایداری حجم^۶ و معادلات تراکم ناپذیر^۷ جریان آب به همراه معادله پخش-انتقال^۸ حرارت در مدل حاضر بکار گرفته شده است. معادلات حاکم بصورت برداری به شکل زیر نوشته شده است:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \left(\frac{\partial F^c}{\partial x} + \frac{\partial G^c}{\partial y} \right) = \left(\frac{\partial F^d}{\partial x} + \frac{\partial G^d}{\partial y} \right) + S$$

$$G^c = \begin{pmatrix} hv \\ huv \\ hv^2_o \\ hvT \end{pmatrix}, F^c = \begin{pmatrix} hu \\ hu^2 \\ huv \\ huT \end{pmatrix}, W = \begin{pmatrix} h \\ hu \\ hv \\ hT \end{pmatrix}$$

$$G^d = \begin{pmatrix} 0 \\ hv_h \frac{\partial u}{\partial y} \\ hv_h \frac{\partial v}{\partial y} \\ hv_{Th} \frac{\partial T}{\partial y} \end{pmatrix}, S = \begin{pmatrix} q_z \\ -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + hv f_{cx} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w} + \frac{\tau_{wx}}{\rho_w} \\ -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - hu f_{cy} - \frac{\tau_{by}}{\rho_w} + \frac{\tau_{wy}}{\rho_w} \\ S_c \end{pmatrix} \quad (V)$$

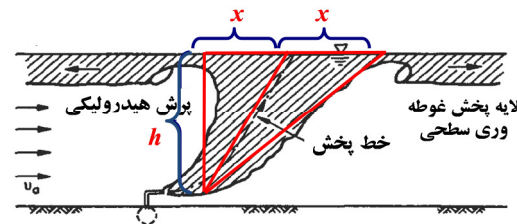
$$F^d = \begin{pmatrix} 0 \\ hv_h \frac{\partial u}{\partial x} \\ hv_h \frac{\partial v}{\partial x} \\ hv_{Th} \frac{\partial T}{\partial x} \end{pmatrix}$$

در این معادلات W نشان دهنده متغیرهای پایسته می باشد. در این حالت h عمق منطقه، u و v مولفه های افقی سرعت و T دما میباشد G^c و F^c بردارهای شار انتقال^۹ و همچنین G^d و F^d بردارهای شار پخش^{۱۰} در جهت x و y می باشند. بعلاوه بردار S در برگیرنده جملات منبع و چاه^{۱۱} در معادلات حاکم می باشد [۱۰].

با استفاده از معادلات فوق، جریان ها با در نظر گرفتن این موارد می توانند محاسبه شوند: Q_z به عنوان تبخیر سطحی آب، شیب-های سطح و کف $\eta = h + z_b$ ، تنشهای کلی اصطکاکی بستر^{۱۲} $\tau_{bx} = C_f u |U|$ و $\tau_{by} = C_f v |U|$ ، $C_f = gn^2 / h^{0.33}$ ، ضریب

گرمایی حاصل در منطقه پره سر در دسته اول یعنی پلوم‌هایی که انحراف آنها کم است، قرار می‌گیرد.

با توجه به شکل ۳، می‌توان محدوده میدان نزدیک را بدست آورد. با توجه به اینکه مقدار F_a برای منطقه ۰/۲۴ محاسبه شده است و همچنین با توجه به عمق منطقه که ۵/۵ متر می باشد می‌توان مقدار X را برابر ۳/۶۷ متر بدست آورد و دو برابر این مقدار همان برابر ۷/۳۳ متر محدوده میدان نزدیک است که در این محدوده دما روی جریان تأثیر می‌گذارد و ماهیت سه بعدی دارد و بعد از این محدوده دیگر دما روی جریان تأثیر ندارد و جوابهای دوبعدی قابل قبول است.



شکل ۳- محاسبه محدوده میدان نزدیک در اطراف خروجی نیروگاه پره سر با توجه به شکل پلوم

با توجه به اینکه محدوده میدان نزدیک (حدود ۷ متر) نسبت به ابعاد منطقه در مدلسازی (حدود ۵ کیلومتر در ۷ کیلومتر) اندک است، از اثر میدان نزدیک صرفنظر می‌گردد و در میدان دور جریان دو بعدی با لایه‌بندی حرارتی وجود دارد.

بطور کلی فرآیند پخش دما در نزدیکی پخش‌انده‌ها بدلیل خروج آب بصورت جت تلاطمی که دارای سرعت و دبی بالا بوده و همچنین بدلیل گرمتر بودن آن که باعث اختلاف چگالی می‌گردد، گرادیان سرعت‌ها و نیز گرادیان چگالی در پلان و در عمق بسیار شدید بوده و نمی‌توان از جریان‌های چرخشی در عمق و پلان صرفنظر کرد بنابراین رفتار حاکم بصورت سه بعدی است. علاوه بر آن باد و جریانات دریایی نیز از عوامل تأثیر گذار برالگوی پخش دما در اطراف خروجی‌ها می‌باشند، از طرفی مدلسازی این محدوده وسیع بصورت سه بعدی نیازمند زمان اجرای زیاد برای مدل‌ها بوده و دارای هزینه محاسباتی زیادی است. برای حل این مشکل یکی از تکنیک‌های متداول، تفکیک محدوده مورد مطالعه به دو بخش جدا از هم یعنی میدان نزدیک و میدان دور است. از آن جایی که تئوری حاکم بر این دو محدوده متفاوت بوده و تحلیل این دو محیط، فرضیات مختلفی را می‌طلبد نحوه حل آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. در این تکنیک حل دقیق تر سه بعدی در ناحیه نزدیک به خروجی انجام می‌شود و بعد از کاهش ماهیت سه بعدی جریان محدوده تحت بررسی که معمولاً محدوده بسیار بزرگتری است به روش دو بعدی که از نظر محاسباتی دارای راندمان و سرعت بالاتری است انجام می‌پذیرد. در این مطالعه با توجه به این نکته که تعداد

گره انتهایی لبه ها محاسبه می شوند (برخورد کننده با گره i). فرمول تصحیح شده که دقت حل عددی را حفظ می نماید در عبارت زیر آورده شده است [۱۳]:

$$W_i^{t+\Delta t} = W_i^t - \frac{\Delta t}{\Omega_i} \cdot \{R(W_i^t) - D(W_i^t)\} + S_i^t \Delta t \quad (9)$$

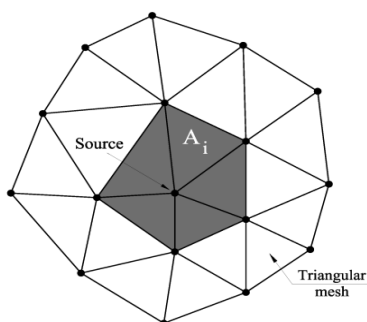
Δt ، حداقل گام زمانی دامنه است که متناسب با حداقل فاصله شبکه بندی است. در مطالعه حاضر یک روند سه مرحله ای رانج-کوتا برای پایدارسازی فرایند حل گام به گام صریح زمانی بکارگرفته شده است که این کار از طریق میراسازی خطاهای دارای فراکانس بالا صورت می گیرد [۱۴]. در معادله فوق مقادیر W در هر گره i در هر گام زمانی با اضافه کردن جمله باقی مانده تصحیح می گردد. مقادیر جمله باقی مانده با استفاده از مقادیر W در لبه های حجم کنترل Ω محاسبه می شود. از اینرو، به لبه ها در کل مراحل محاسبات ارجاع داده می شود. بنابراین استفاده از ساختار داده های مبتنی بر لبه برای تعریف شبکه بندی بی ساختار مناسب خواهد بود. با استفاده از الگوریتم های محاسباتی مبتنی بر لبه، تعداد ارجاعات به حافظه کاهش می یابد و تا ۵۰ درصد در زمان محاسبات صرفه جویی می گردد. [۱۲].

۶- مدل سازی عددی

۶-۱- مدل سازی عددی نقطه منبع حرارتی

همانطور که در معادلات میانگین عمقی (رابطه ۷) اشاره شد q_z دبی در واحد سطح و S_c شار گرمایی در واحد سطح می باشد. از آنجایی که نقاط منبع معمولاً نقاط منفرد با دما و دبی معین هستند، هدف آن است که نحوه لحاظ این دو پارامتر در فرمول بندی عددی مشخص گردد. با توجه به آنکه مش بندی مثلثی است می توان سطح دبی در واحد سطح هر نقطه از مثلث را یک سوم مساحت آن مثلث (A_i) در نظر گرفت. حال اگر یک نقطه را به عنوان منبع با دبی Q_{dif} در نظر بگیریم، مساحت مؤثر در محاسبه دبی برای فرمول بندی عددی برابر است با مجموع یک سوم مساحت مثلث های اطراف آن نقطه منبع، یعنی:

$$A_N = \frac{1}{3} \sum_i A_i \quad (10)$$



شکل ۴- محاسبه مساحت مؤثر در اطراف نقطه منبع

مانینگ^{۱۳} تنشهای کلی باد بر سطح آب $\tau_{wx} = \rho_{air} C_w u_{wx} |V_{wind\ 10m}|$ و $\tau_{wy} = \rho_{air} C_w v_{wy} |V_{wind\ 10m}|$ (با $C_w = 0.001$)، نیروی کریولیس $f_{cx} = \omega \cos \phi$ و $f_{cy} = \omega \sin \phi$ (با استفاده از سرعت دورانی زمین ω و ϕ عرض جغرافیایی نقطه تحت بررسی) پارامتر $v_h = 0.1hU^*$ ادی ویسکوزیته آشفتگی افقی^{۱۴} و V_{Th} پخش شدگی دمای افقی^{۱۵} در آب می باشد [۱۱].

۵- فرمول بندی عددی

معادلات بصورت صریح با استفاده از روش حجم محدود^{۱۶} بر روی شبکه بندی بی ساختار مثلثی^{۱۷} حل شده اند. معادلات حاکم با بکارگیری روش Cell vertex (overlapping) در روش حجم محدود جدا سازی شده اند. این روش در نهایت منجر به فرمول بندی زیر خواهد شد [۱۲]:

$$W_i^{t+\Delta t} = W_i^t - \frac{\Delta t}{\Omega_i} \cdot \sum_{k=1}^{N_{sides}} [(\bar{F}^c \Delta y - \bar{G}^c \Delta x) - (F^d \Delta y - G^d \Delta x)]_k^t + S_i^t \Delta t \quad (8)$$

در این معادله W_i بیانگر متغیر های پایسته در مرکز حجم کنترل Ω_i می باشد. $\bar{F}^c$ و $\bar{G}^c$ متوسط شار های انتقال روی وجوه مرزی حجم کنترل می باشند. شارهای پخش F^d و G^d با معادله مجزاسازی شده مربوط به انتگرال روی مسیر در اطراف مرکز وجوه مرزی حجم کنترل محاسبه شده اند (با استفاده از حجم کنترل مجازی). جمله باقی مانده برابر $R(W_i) = \sum_{k=1}^{N_{sides}} [(\bar{F}^c \Delta y - \bar{G}^c \Delta x) - (F^d \Delta y - G^d \Delta x)]_k^t$ شامل بخشهای پخش و انتقال است. در بخشهای هموار میدان جریان جایی که گرادیان شدید مؤلفه های سرعت وجود ندارد، بخش انتقالی جمله باقی مانده دارای مقدار غالب است. از آنجایی که در محاسبات صریح جریانانتقالی غالب، مکانیزمی برای میرا کردن نوسانات عددی وجود ندارد، لازم است که تکنیک های عددی برای غلبه بر ناپایداری ها، با حداقل کاهش دقت، بکار برده شوند. در مطالعه حاضر جملات میراگر مصنوعی مناسب برای شبکه بندی بی ساختار برای پایدار سازی روند حل عددی بکار گرفته شده است. به منظور میرا سازی نوسانات ناخواسته عددی، یک جمله درجه ۴ میراگر مصنوعی یعنی $D(W_i) = \varepsilon \sum_{j=1}^{N_{edges}} \lambda_{ij} (\nabla^2 W_j - \nabla^2 W_i)$ به فرمول جبری فوق اضافه شده است که در آن λ_{ij} ضریب مقیاس است که با استفاده از حداکثر مقدار شعاع طیفی مربوط به هر یک از لبه های متصل شده به گره i محاسبه می شود ($1/256 \leq \varepsilon \leq 3/256$). در این حالت عملگر لاپلاسیان در هر گره i ، یعنی $\nabla^2 W_i = \sum_{j=1}^{N_{edges}} (W_j - W_i)$ با استفاده از متغیر W در دو

حال با استفاده از معادله بقای دبی داریم :

$$Q_N = Q_{dif} \quad (11)$$

از طرفی q_z دبی در واحد سطح و A_N مساحت مؤثر برای آن نقطه است. پس دبی گذرنده از مجموع مساحت Q_N برابر با مقدار زیر خواهد بود:

$$Q_N = q_z A_N \quad (12)$$

با توجه به روابط فوق داریم:

$$q_z = 3Q_{dif} / \sum_i A_i \quad (13)$$

حال اگر به همین روش برای محاسبه شار گرمایی در واحد سطح یعنی S_c از قانون بقای شار گرمایی استفاده گردد، عبارت خواهد بود از:

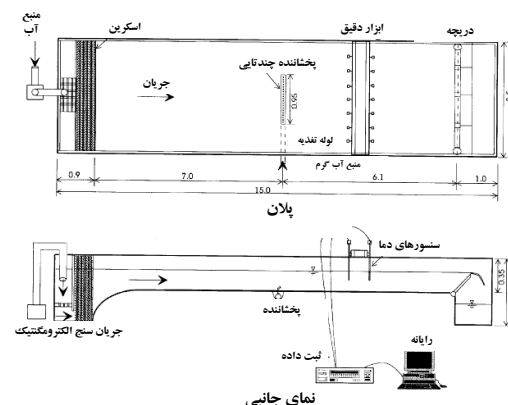
$$S_c A_N = Q_{dif} T \quad (14)$$

در این رابطه T دمای پخش‌شونده است. با توجه به روابط ۷ و ۸ مقدار S_c به ترتیب زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$S_c = \frac{Q_N}{A_N} T = q_z T \quad (15)$$

۶-۲- صحت سنجی مدل

با توجه به اینکه مدل سازی آلودگی حرارتی در اطراف یک پخش‌شونده چند تایی به صورت دو بعدی و سه بعدی می‌تواند صورت گیرد، برای بدست آوردن خطاها و اختلاف‌های آنها، آزمایشاتی که توسط کیم (با ماهیت سه بعدی) انجام شده است [۲] توسط نرم افزار NASIR که نرم افزاری میانگین عمقی است مدلسازی شده است. در این آزمایش پخش‌شونده چند تایی شامل خروجی‌هایی است که در یک جهت قرار گرفته اند و خروجی‌ها موازی با جریان عبوری کانال هستند. در شکل ۵ نمایش هندسه کانال در پلان و نما ارائه شده است.



شکل ۵- هندسه و مشخصات کانال آزمایش [۲]

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود طول کل پخش‌شونده یعنی L_D ۹۵ سانتی متر، قطر داخلی خروجی ۰/۴۳ cm و با فاصله‌های ۵ cm است، طول مدل فیزیکی سیستم پخش‌شونده ۱۵ متر و عرض آن ۳/۵ متر و عمق ۰/۳۵ متر می‌باشد شرایط و حالت‌های آزمایشگاهی برای پخش‌شونده چند تایی در جدول ۱ آورده شده است در این جدول u_a سرعت جریان در کانال، U_0 سرعت خروجی از پخش‌شونده، M_r نسبت مومنتوم جریان به مومنتوم خروجی ($M_r = u_a^2 H / U_0^2 B$)، B عرض پخش‌شونده و g'_0 شتاب جاذبه مؤثر است. شرایط هیدرولیکی آب داخل کانال شامل سرعت و عمق آب بر اساس شرایط اقیانوسی ساحل کره می‌باشد که در آن نسبت مومنتوم جریان کانال به مومنتوم جت خروجی بسیار بالاست، بنابراین در این آزمایش M_r در محدوده ۰/۲۸ تا ۳۸/۳ می‌باشد.

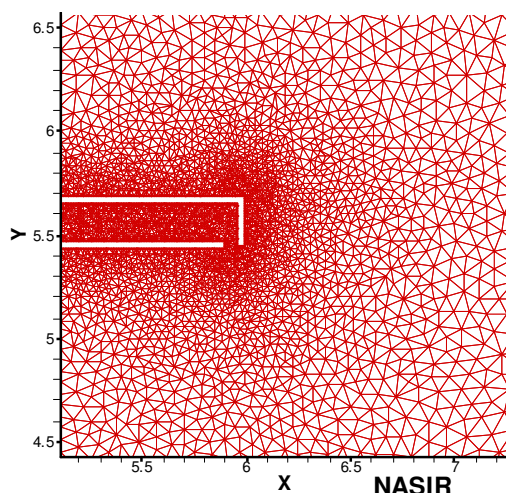
جدول ۱- شرایط و حالات آزمایش پخش‌شونده چند تایی [۲]

حالت	M_r	g cm/s ²	B cm	U_0 cm/s	u_a cm/s	H cm
A	۰/۲۸	۲/۴۵۷۴	۰/۰۲۹۰۴	۷۰	۲	۱۰
B	۰/۵۵	۲/۴۵۷۴	۰/۰۲۹۰۴	۵۰	۲	۱۰
C	۱/۵۳	۲/۴۵۷۴	۰/۰۲۹۰۴	۳۰	۲	۱۰
D	۲/۵۳	۲/۴۵۷۴	۰/۰۲۹۰۴	۷۰	۶	۱۰
E	۴/۹۶	۲/۴۵۷۴	۰/۰۲۹۰۴	۵۰	۶	۱۰
F	۱۳/۷۷	۲/۴۵۷۴	۰/۰۲۹۰۴	۳۰	۶	۱۰

توزیع دمای اضافی بی بعد مشاهده شده در ۳ نمونه در سطح آب، همراه با نتایج مدل سازی توسط نرم افزار NASIR که بصورت میانگین عمقی (دو بعدی) است در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج حل احجام محدود معادلات میانگین عمقی به صورت مناسبی روند کلی انتقال و پخش حرارت را در محیط آب مدل سازی می‌نماید. با این حال به علت ماهیت سه بعدی شار حرارتی شناور اختلافاتی میان مقادیر متوسط دما که توسط نرم افزار NASIR بدست آمده و دماهای اندازه گیری شده در سطح آب وجود دارد. علت اصلی این اختلاف توزیع قائم شار حرارتی است که پلوم حرارتی را تشکیل می‌دهد [۱۶].

۶-۳- برپایی مدل

نیروگاه حرارتی پره سر در استان گیلان حد فاصل شهرهای انزلی و آستارا و در نزدیکی شفا رود و همجواری با دریای خزر واقع شده است. موقعیت تقریبی این پروژه در حدود "۴۲' ۳۸' ۳۷" عرض و "۱۰' ۰۵' ۴۹" طول جغرافیایی واقع شده است. عمق محل تخلیه ۴ متر (در حالتی که آب دریای خزر در پایین‌ترین سطح خود باشد) در نظر گرفته شده است. همچنین سرعت خروجی جت ۵



شکل ۷- شبکه بندی بی ساختار مورد استفاده برای مدل جریان و پخش حرارت (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می باشند و حداقل بعد مثلث ۵ متر تا حداکثر بعد مثلث ۵۰۰ متر)

شبکه بندی به گونه ای انجام شده است که در محل تخلیه آب گرم و اطراف بندر که دارای بیشترین گرادیان دما و اهمیت هستند، اندازه شبکه ها کوچکتر (حداقل بعد مثلث ۵ متر) و در سایر نقاط شبکه بندی درشت تری (حداکثر بعد مثلث ۵۰۰ متر) استفاده شده است تا ضمن حفظ دقت در نتایج، زمان اجرای مدل نیز قابل قبول باشد. منطقه پره سر در صفحه افقی به روش دلونی مثلث بندی گردیده است و بنابراین شبکه بندی از نوع بی ساختار مثلثی است. از نظر تعداد گره و المان، شامل ۵۸۲۹ گره و ۱۱۰۳۰ المان مثلثی است.

با توجه به اینکه در منطقه پره سر سرعت متوسط جریان برابر ۰/۱ متر بر ثانیه و عمق منطقه بین ۱ تا ۱۰ متر است، در تمام نقاط منطقه عدد فرود کوچکتر از یک و جریان زیر بحرانی است. حال با توجه به زیر بحرانی بودن جریان در شرایط مرزی در بالادست سرعت و در پایین دست عمق اعمال می کنیم. برای اعمال شرایط مرزی دیواره ها و ساحل، مرز ساحل که مرزی دارای زبری است و مرز دیواره های موج شکن را با صرف نظر از استهلاک بصورت مرز بدون استهلاک تعریف می گردد.

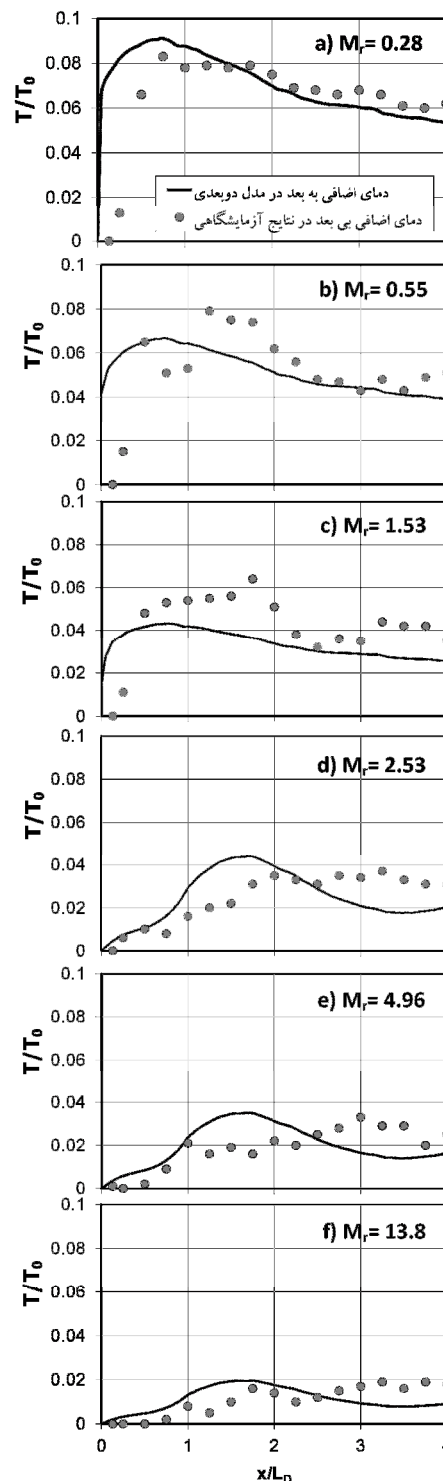
۴-۶- اعمال اثر مقاومت بستر و آشفستگی در مدلسازی عددی

زبری کف را توسط ضریب مانینگ و مقدار آن را برابر ۰/۰۱ فرض کرده و اثر تلاطم را بر اساس ضریب ادی ویسکوزیته و برابر ۰/۰۰۰۵ N.S/m² در نظر گرفته شده است.

۵-۶- اعمال باد در مدلسازی عددی

اثر باد با توجه به سرعت، جهت و مدت زمان اثر آن می تواند یکی از عوامل اصلی ایجاد جریان و پخش حرارت باشد. با توجه به

متر بر ثانیه (با زاویه ۲۰ درجه نسبت به دیواره موج شکن آب گیر) و دبی آن ۴۲ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است [۱۵].
شکل ۷ فایل شبکه بندی بی ساختار مورد استفاده برای مدل جریان و پخش حرارت را در اطراف نیروگاه پره سر نشان می دهد.



شکل ۶- دمای اضافی^{۱۸} بی بعد طولی در مرکز پخش کننده ها در کانال آزمایشی، مشاهدات آزمایشگاهی و حل دو بعدی میانگین عمقی نرم افزار NASIR

با توجه به اینکه دمای نقطه آبگیر، همان دمای حاصله از حل مدل عددی در این نقطه است، نرم افزار دمای این نقطه را محاسبه می نماید.

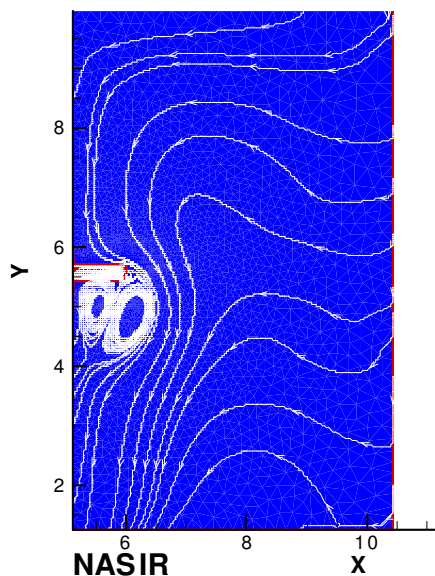
در شکل ۸ محل خروجی آب از نیروگاه (ورود آب به محیط) با رنگ قرمز و محل ورود آب به نیروگاه (خروج آب از منطقه) با رنگ آبی نشان داده شده است.

۶-۷- نتایج مدل سازی

بر اساس شرایط مدل سازی تشریح شده در بخش های قبل شامل شرایط مرزی، جریان باد غالب و همچنین اعمال جریانهای ورودی و خروجی و با توجه به این نکته که سرعت جریان میدان دور برابر با ۰/۳۶ کیلومتر بر ساعت است، حل هیدروینامیکی و حرارتی در منطقه پره سر توسط نرم افزار NASIR انجام شده است. شکل ۹ بردارها و خطوط جریان تشکیل گردابه ها در اطراف موج شکن (به عنوان یک مانع در برابر جریان) را نشان می دهد. در شکل های ۱۰ تا ۱۳ نتایج تحلیل میدان حرارت در چهار حالت بدون باد و جریان (آرام)، جریان غالب بدون باد، باد غالب بدون جریان و همچنین باد و جریان غالب ارائه گردیده است.

طبق ضوابط و استانداردهای سازمان حفاظت زیست ارائه شده در سال ۱۳۷۷ در مورد درجه حرارت تخلیه به آبهای سطحی در تبصره چهار چنین آمده است که درجه حرارت باید به میزانی باشد که بیش از ۳ درجه سانتی گراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، درجه حرارت منبع پذیرنده را افزایش یا کاهش ندهد.

در جدول ۲ نتایج تحلیل میدان حرارت در چهار حالت، بصورت خلاصه ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می گردد همه موارد در محدوده مجاز ضوابط زیست محیطی می باشند.

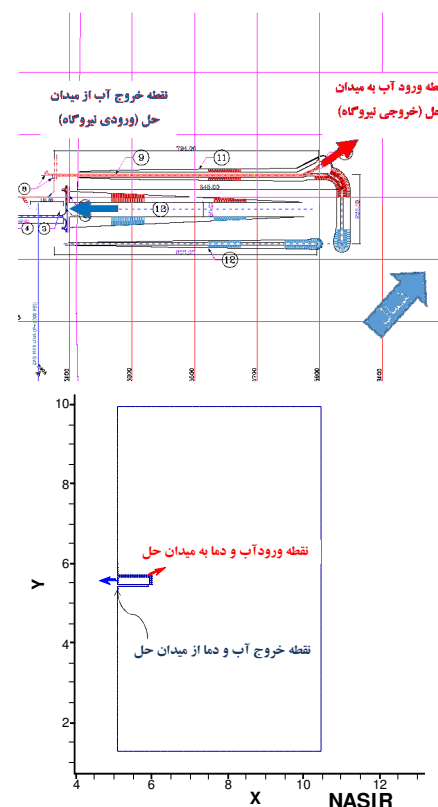


شکل ۹- خطوط جریان در اطراف خروجی نیروگاه پره سر در شرایط باد و جریان غالب (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می باشند)

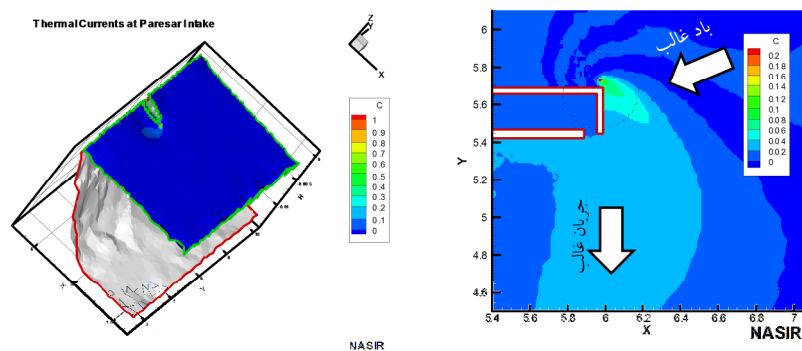
اطلاعات موجود، باد غالب منطقه با زاویه ۲۰۲/۵ نسبت به شمال در جهت عقربه های ساعت و با سرعت ۶/۲۵ متر بر ثانیه برابر ۲۲/۵ کیلومتر بر ساعت است. لازم به ذکر است که برنامه عددی حاضر، توانایی اعمال اثر باد با زوایای متفاوت و همچنین با سرعت های مختلف در محدوده های زمانی معین را نیز داراست.

۶-۶- اعمال جریان ورودی و خروجی

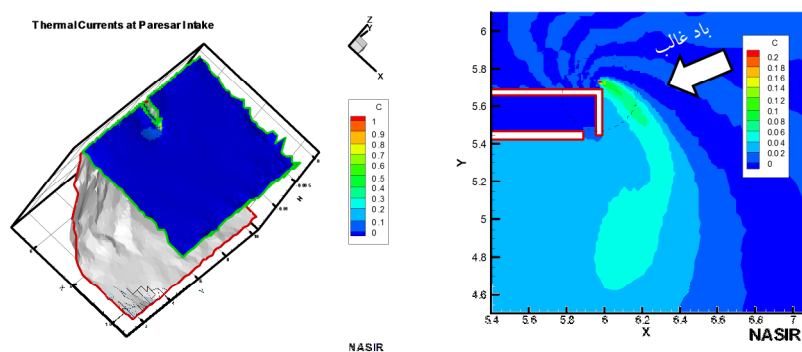
منبع حرارتی در منطقه پره سر یعنی ورودی آب گرم نیروگاه به دریا (Outlet) از نظر مکانی در انتهای بازوی غربی قرار گرفته است. از این رو این نقطه در مدل عددی بصورت یک نقطه منبع با دبی مثبت و دمای مشخص مدل سازی می گردد. همانطوری که بیشتر اشاره شد، نقطه منبع در نرم افزار NASIR از فرمول بندی مشخصی برای تصحیح معادله پیوستگی و معادله انتقال و پخش غلظت برخوردار است. با توجه به اینکه دمای اولیه محیط در فایل ورودی برابر صفر درجه در نظر گرفته شده است، دمای منبع برابر دمای اضافی منبع (برابر ۱۰ درجه سانتی گراد) در نظر گرفته می شود. در شکل ۸ محل ورودی آب و جریان در مدل با رنگ قرمز نشان داده شده است. خروجی آب و دما از دریا یعنی آبگیر نیروگاه (In-take) در انتهای موج شکن در موازات ساحل واقع شده است. از این رو این نقطه بصورت یک نقطه منبع با دبی منفی و دمای حاصل از مدل سازی معرفی می گردد.



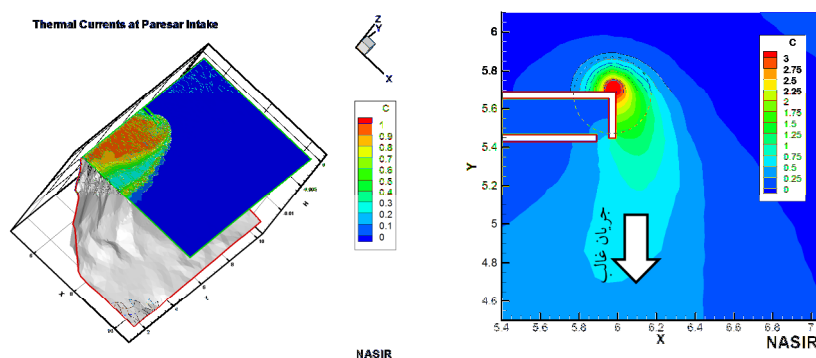
شکل ۸- محل ورود و خروج آب در محل موج شکن و در مدل تحلیلی NASIR (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می باشند)



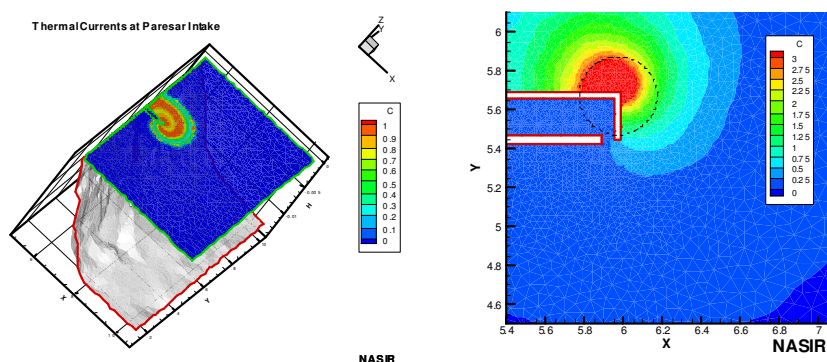
شکل ۱۰- دمای برآورد شده میانگین عمقی در اطراف خروجی نیروگاه پره سردر شرایط باد و جریان غالب (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)



شکل ۱۱- دمای میانگین عمقی در اطراف خروجی نیروگاه پره سردر شرایط باد غالب و بدون جریان (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)



شکل ۱۲- دمای میانگین در اطراف خروجی نیروگاه پره سردر شرایط باد و بدون جریان غالب (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)



شکل ۱۳- دمای میانگین عمقی در اطراف خروجی نیروگاه پره سردر شرایط آرام (بدون باد و جریان) (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)

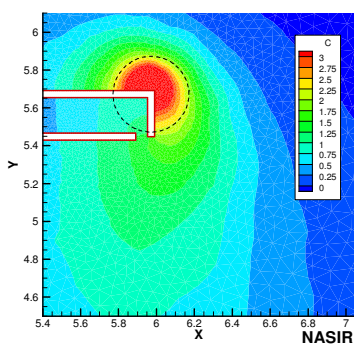
جدول ۲- دمای میانگین عمقی در شرایط مختلف جریان و باد

شرایط حل	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	سرعت جریان میدان دور (متر بر ثانیه)	حداکثر دمای میانگین عمقی (درجه سانتی گراد)	حداکثر دمای میانگین عمقی شعاع ۲۰۰ متری محل تخلیه (درجه سانتی گراد)
بدون باد و جریان	۰	۰	۷/۷۸	۳/۰۵
جریان غالب و بدون باد	۰	۰/۱	۴/۱۵	۱/۴۹
باد غالب و بدون جریان	۲۲/۵	۰	۰/۴۴	۰/۰۶۶
باد غالب و جریان غالب	۲۲/۵	۰/۱	۰/۳۵	۰/۰۵

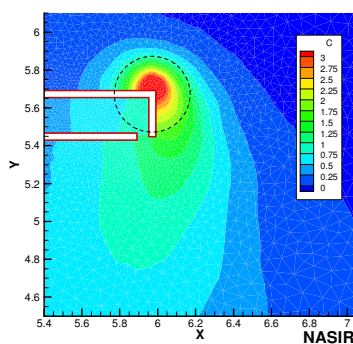
۸-۶- آنالیز حساسیت

همانطور که در نتایج ارائه شده در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مشاهده می‌گردد، با افزایش هر دو پارامتر سرعت جریان غالب میدان دور و سرعت باد، میزان افزایش دما در اطراف خروجی نیروگاه و همچنین در دهانه ورودی موج شکن کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد

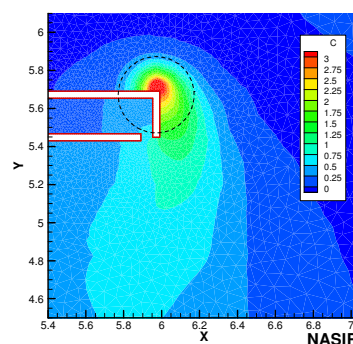
که بحرانی‌ترین حالت مساله از نظر پارامترهای موثر تحت بررسی، حالت کمترین سرعت جریان و کمترین مقدار سرعت باد می‌باشد و منطقی به نظر می‌رسد که این حالت به عنوان بدترین شرایط محتمل مورد نظر قرار گیرد.



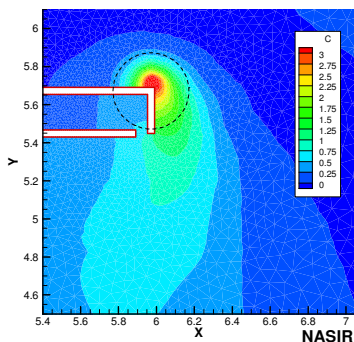
سرعت باد = ۰ و سرعت میدان دور = ۰/۱۲ کیلومتر بر ساعت



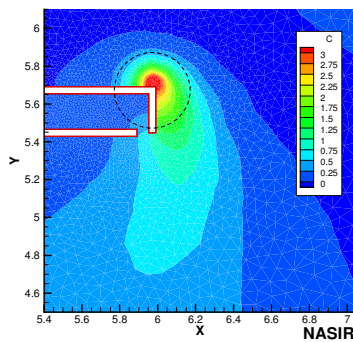
سرعت باد = ۰ و سرعت میدان دور = ۰/۲۴ کیلومتر بر ساعت



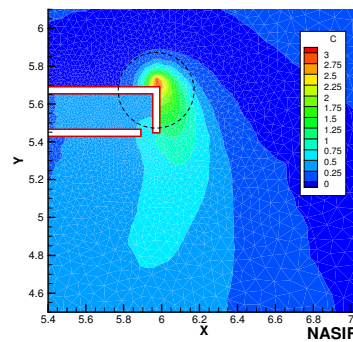
سرعت باد = ۰/۳۶ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور = ۰



سرعت باد = ۰/۳۶ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور = ۰/۳۶

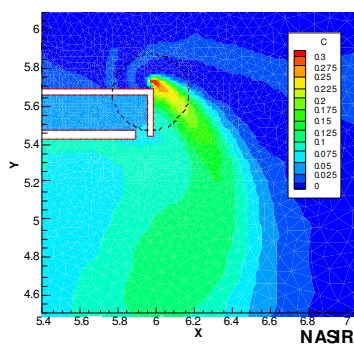


سرعت باد = ۰/۴۸ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور = ۰

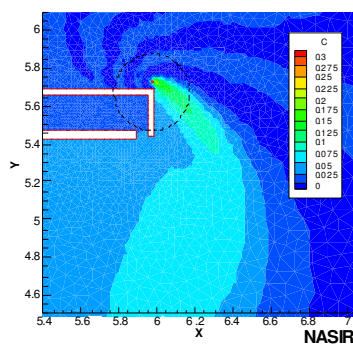


سرعت باد = ۰/۶ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور = ۰

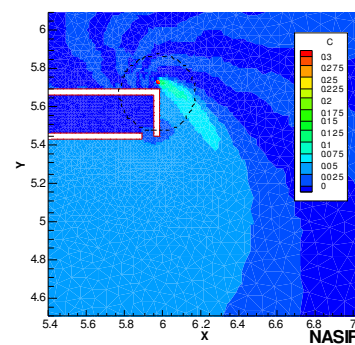
شکل ۱۴- آنالیز حساسیت بر روی مقدار سرعت میدان دور (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)



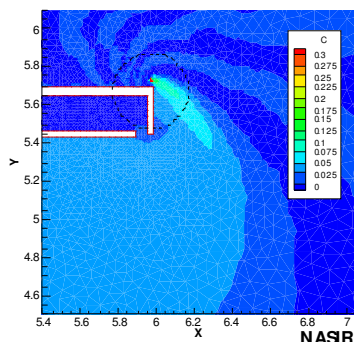
سرعت باد = ۷/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور *



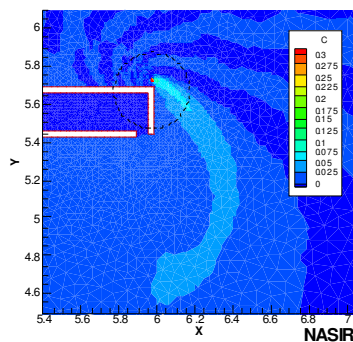
سرعت باد = ۱۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور *



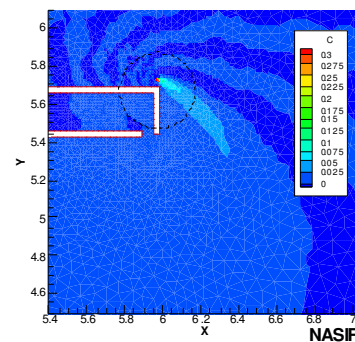
سرعت باد = ۲۲/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور *



سرعت باد = ۲۷/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور *

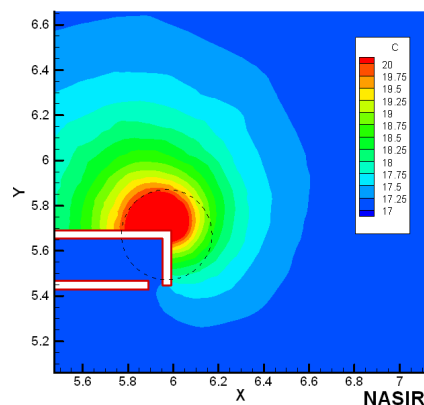


سرعت باد = ۳۰ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور *

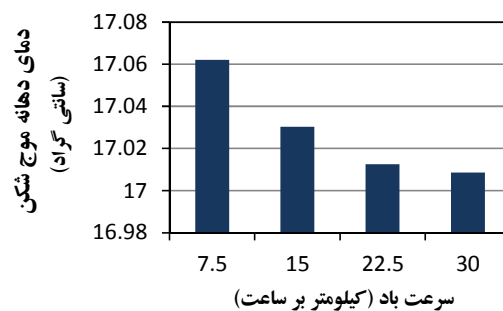


سرعت باد = ۳۷/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت میدان دور *

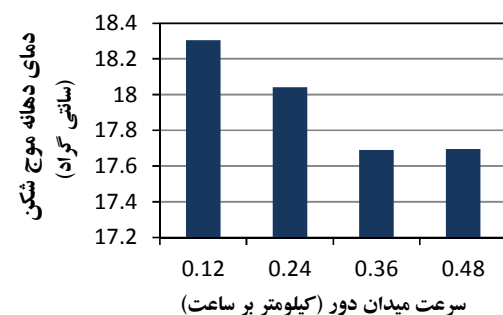
شکل ۱۵- آنالیز حساسیت بر روی مقدار سرعت باد با زاویه ۲۰۲/۵ (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)



نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نیز نشان می‌دهند، در سرعت‌های باد کمتر از ۲۲/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت‌های جریان کمتر از ۰/۳۶ کیلومتر بر ساعت نرخ افزایش دما در دهانه



شکل ۱۶- دمای دهانه موج شکن در مقادیر مختلف سرعت باد



شکل ۱۷- دمای دهانه موج شکن در مقادیر مختلف سرعت میدان دور

شکل ۱۸- (الف) نتایج NASIR در حالت آرام (بدون باد و جریان)، (ب) نتایج گزارش مطالعات پخش حرارت نیروگاه پره سر در حالت آرام [۱۵]. (واحدهای مختصات بر حسب کیلومتر می‌باشند)

16. Finite Volume Method
17. Triangular unstructured meshes
18. Excess Temperature

موج شکن افزایش می‌یابد و سرعت‌های کم باد و جریان بحرانی ترین حالات برای راندمان سیستم نیروگاه و برآورده سازی شرایط زیست محیطی محسوب می‌گردند.

۸- منابع

- 1- Sabbagh-Yazdi, S.R., Zounemat-Kermani, M. and Kermani, A., (2006), *Solution of Depth Averaged Tidal Currents in Persian Gulf on Unstructured Overlapping Finite Volumes*, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 55, 81-101.
- 2- Kim, D.G. and Seo, W.I., (2000), *Modeling the Mixing of Heated Water Discharged from a Submerged Multi-Port Diffuser*, Journal of Hydraulic Research, 38(4), 259-269.
- 3- Suh, S.W., (2001), *A hybrid near-field/far-field thermal discharge model for coastal areas*. Marine Pollution Bulletin, Vol. 43, Nos. 7-12, pp. 225-233.
- 4- Jiang, J., Fissel D.B., Lemon D.D. and Topham D., (2002), *Modeling cooling water discharges from the Burrard generating station*. BC Canada. Presented at Oceans, Biloxi, USA.
- 5- Shafie-far, M., Montazeri, H. and Dadi, N., (2006), *Near Field and Far field study of thermal diffusion of NEKA power plant via Fluent and Mike21*. ICOPMAS.
- 6- Bo-fen, Y., You-liang, C., Ying, G., (2006), *Numerical simulation of Eclipsed form arrangement of water Intake-Outlet project in power plant*, Conference of Global Chinese Scholars on Hydrodynamics.
- 7- Abbaspour, M., Javid, A.H., Moghimi, P. and Kayhan, K., (2005), *Modeling of thermal pollution in coastal area and its economical and environmental assessment*, Int. J. Environ. Sci. Tech. Vol. 2, No. 1, pp. 13-26.
- 8- Razaghi, A., (1999), *2-D modeling of thermal diffusion of power plants in the sea*, MS Thesis. University of Tehran.
- 9- Mendez-Diaz, M.M. and Jirka, G.H., (1996), *Buoyant plumes from multiport diffuser discharge in deep coflowing water*, J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 8, pp. 428-434.
- 10- Vreugdenhil, C.B., (1994), *Numerical Methods for Shallow Water Flow*, Kluwer Academic Publisher.
- 11- Jia, Y. and Wang, S., (1999), *Numerical Model For Channel Flow and Morphological Change Studies*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No. 5, PP. 924-933.
- 12- Thompson, J.F., Soni B.K. and Weatherill, N.P., (1999), *Hand Book of Grid Generation*, CRC Press
- 13- Jameson, A., Baker, T. J. and Weatherill, N. P., (1986), *Calculation of Inviscid Transonic Flow over a Complete Aircraft*, AIAA Paper 86-0103.

۹-۶- مقایسه نتایج نرم افزار NASIR با نتایج مطالعات جریان و پخش حرارت نیروگاه پره سر

همانطور که در شکل ۱۸-الف ب مشاهده می‌گردد، در هر دو حالت الگوی پخش حرارت شبیه می‌باشند و با توجه به اینکه دمای اولیه ۱۷ درجه سانتی گراد است، دمای اضافی ایجاد شده حداکثر سه درجه است که در محدوده ضوابط زیست محیطی می‌باشد. البته باید به این نکته توجه داشت که در مدل سازی NASIR انتقال حرارت از سطح آب در نظر گرفته نشده است، همچنین در مدل سازی شرکت سازه پردازی اثر سه بعدی جت آشفته در محدوده میدان نزدیک در نظر گرفته شده است.

۷- نتیجه گیری

همانطوری که در نتایج مشاهده شد، بحرانی ترین حالت پخش حرارت در نظر گرفته شده شامل سرعت کم جریان میدان دور و سرعت باد غالب برای راندمان نیروگاه مشکلی ایجاد نمی‌کند یعنی دمای اضافی به صورت موثری کاهش یافته و وارد سیکل ورودی نیروگاه نخواهد شد. همچنین افزایش دمای محیط در حالت میانگین عمقی در شعاع ۲۰۰ متری اطراف پخش کننده در هیچ نقطه‌ای از ۳ درجه سانتی گراد بیشتر نشده است، لذا تغییرات دمای مورد نظر در محدوده مجاز ضوابط زیست محیطی است. همچنین باید متذکر شد که در این مدل انتقال حرارت از سطح آب در نظر گرفته نمی‌شود که این امر باعث بوجود آمدن مقداری خطا در نتایج نهایی شده است زیرا دمای سطحی در اثر تماس با هوا کاهش می‌یابد و اثر آن را در نتایج لحاظ نشده است.

کلید واژگان

1. Numerical Analyzer for Scientific and Industrial Requirements
2. Cormix
3. Fluent
4. Mike21
5. Depth Average Equations
6. Depth average volume conservation equations
7. Incompressible momentum equations
8. Convection-diffusion equation
9. Convective fluxes
10. Diffusive fluxes
11. Source and sinks
12. Global bed friction stresses
13. Manning coefficient
14. Horizontal algebraic turbulent eddy viscosity
15. Horizontal temperature diffusivity

- 16-Seddigh Marvasti., S.S., Sabbagh-Yazdi,S.R. andJavid, A.H., (2010),*Assessment of surface temperature by depth-average solution of heat Dissipation field*, Journal of Environmental Sciences and Technology, ISSN 1563-4809 (In Persian)
- 14-Jameson, A., Schmidt, W. &Tukel, E. (1981)*Numerical Solution of the Euler Equations by Finite Volume Method using RungeKutta Time Stepping Schemes*, AIAA pp.1259-1281, June 1981.
- 15-SAZEPARDAZI consultant engineers and MAPNA, (2007),*Study report on Paresar power plant Intake system:Sea currents and Thermal diffusion report*.