



## مدلسازی رفتار جریان در دهانه تالاب انزلی، مقدمه ای بر مدلسازی زیست محیطی

رضا غیائی<sup>۱</sup>، امیر محبوب<sup>۲</sup>، سمیه یوسفی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیئت علمی دانشکده عمران - پردیس فنی - دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری دانشکده عمران دانشگاه تهران و کارشناس ارشد پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری

۳- کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی

rghiassi@ut.ac.ir

### خلاصه

تالاب انزلی یکی از اصیل ترین تالابهای طبیعی به شمار می رود و حفظ زنده بودن تالاب از دیدگاه زیست محیطی تالاب ارزش بسیار زیادی دارد. در دهه های اخیر به طرق مختلف شرایط ایمن زیست محیطی تالاب دستخوش تغییرات شده است و هر یک از عوامل مختلف تأثیر خاص خود را در این تغییرات گذاشته است. برای شناسایی و تخمین پارامترهای زیست محیطی تالاب و بررسی اثرات عوامل مخرب به منظور رعایت شرایط توسعه پایدار لازم است پارامترهای هیدرودینامیکی در محدوده مورد نظر شناسایی و مدلسازی شوند. نظر به اینکه یکی از حساس ترین بخشهای تالاب انزلی، محل اتصال آن به دریای خزر است مدلسازی این محدوده در اولویت قرار دارد. مقاله حاضر حاوی اطلاعات هندسی و توپوگرافی و شرایط مرزی مدلسازی جریان در دهانه تالاب است. با اعمال شرایط مرزی، مدلسازی جریان بصورت دو بعدی در محدوده دهانه تالاب انجام شده است و نتایج پروفیل سرعتها در نقاط مختلف پیش بینی و ترسیم شده است. در این مدلسازی از نرم افزار توسعه یافته بر اساس روش حجم محدود استفاده شده است و شرایط عمومی توپوگرافی مشابه شرایط جریان در رودخانه های شاخه ای بوده است. مقادیر سرعتها و جهت حرکت جریان و گردابه ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و کلیاتی در خصوص مدلسازی زیست محیطی بیان گردیده است.

کلمات کلیدی: مرداب انزلی، مدلسازی جریان، بندر انزلی، نهرروگاه، توسعه پایدار

### مقدمه

پیشرفت صنعتی جوامع بشری در عین حال که موجب گسترش شهرنشینی گردیده است، طبیعت را مجبور به عقب نشینی از محیط زندگی انسانها نموده و صدمات جبرانناپذیری نیز بر پیکر طبیعت وارد نموده است. تخلیه فاضلابهای شهری و صنعتی در آبهای سطحی از جمله این صدمات است. بندر انزلی یکی از بنادر منحصربفرد به لحاظ تجاری و ترانزیت کالا و مسافر واقع در سواحل جنوبی دریای خزر می باشد. تالاب انزلی در قسمت شرقی بندر انزلی و شهرکهای اطراف آن واقع شده است و به لحاظ زیست محیطی از اهمیت ویژه ای برای اکوسیستم منطقه برخوردار است. بوستانی و همکاران [۱] به مدلسازی دوبعدی توزیع شوری در قسمتهای مختلف تالاب انزلی با استفاده از مدل عددی MIKE21 پرداختند. در فرآیند مدلسازی، عوامل مختلفی نظیر تغییرات تراز آب دریای خزر، ورودی رودخانه ها و باد در نظر گرفته شده است. کالیبراسیون نتایج بدست آمده از مدل عددی با استفاده از مقایسه آنها با نتایج اندازه گیریهای میدانی موجود، صورت گرفته است. نتایج اولیه حاصل از این مدلسازی نشان می دهد که تداخل آب شور و شیرین در تالاب انزلی کم حرکت و غیر پویاست و گسترش شوری تا فاصله کمی در کانال کشتیرانی تالاب انزلی قابل توجه است. به منظور تحلیل پارامترهای زیست محیطی در بندر انزلی و انجام مدلسازی آلودگی در این منطقه نیاز به مدلسازی جریان و تعیین پارامترهای هیدرولیکی می باشد.

یکی از مواردی که به صورت موقت حجم قابل توجهی آب به مجموعه تالاب اضافه می کند، جریان ورودی از دریای خزر ناشی از وزش باد می باشد. در این تحقیق، با توجه به ابعاد هندسی و عمق کم و عرض زیاد، جریان به صورت دو بعدی مدلسازی گردیده است. به منظور افزایش دقت نتایج، مدلسازی جریان طی دو مرحله صورت پذیرفته است. در مرحله اول، مد طوفان ناشی از وزش باد در دریا تا اواسط کانال اتصال مدلسازی شده است و در مرحله دوم از نتایج مدل اول استفاده شده و پارامترهای جریان در شاخه های منتهی به کانال اتصال پیش بینی شده است. نتایج مدلسازی هر دو مرحله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



## موقعیت و شرایط هندسی

بندر انزلی در عرض جغرافیایی ۲۸ ۳۷ شمالی و در طول جغرافیایی ۲۸ ۴۹ شرقی در تراز ۲۶/۲ متر زیر تراز مبنا دریای آزاد قرار دارد. بندر انزلی با دارا بودن قدمتی دیرینه و منحصر به فرد، یکی از بنادر فعال در بین کشورهای حاشیه دریای خزر و بزرگترین بندر حاشیه شمالی کشور می باشد که علاوه بر داشتن جاذبه های گردشگری بدلیل واقع شدن در مسیر اروپا از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. تالاب انزلی، تالابی کم عمق، کوچک، ولی بسیار مشهور است که در منطقه بندرانزلی قرار دارد. مساحت آن در حدود ۱۹۳ کیلومتر مربع می باشد. در شکل ۱ منطقه کانال ارتباطی دریای خزر و تالاب انزلی در میانه شهر بندر انزلی نشان داده شده است. در قسمت شمال شکل، دریا واقع شده است که در این قسمت چند موج شکن احداث شده است. در قسمت جنوبی آن چند شاخه رودخانه که به دریا ریخته می شود، قرار دارد. پس از به هم پیوستن رودخانه ها، آب رودخانه از طریق یک کانال اتصال به دریا ریخته می شود. بندرگاهی در قسمت شرقی کانال اتصال ایجاد شده که فعالیت کشتی ها در این منطقه انجام می پذیرد. بندر شیلاتی و صیادی نیز در ساحل غربی قرار گرفته است.



شکل ۱- قسمت جنوبی کانال ارتباطی بین دریای خزر و تالاب انزلی در میانه شهر

مسائل زیست محیطی بندر انزلی ناشی از فرسایش ساحل در اثر بالآمدن آب دریا، تغییر محل منطقه مسکونی جهت توسعه منطقه پشتیبان بندر و ورود فاضلاب و فضولات مناطق شهری و تاسیسات اطراف می باشد. پیامد این پدیده منجر به تخریب مقدار زیادی واحد مسکونی و غرقابی شدن هکتارها زمین مزروعی گردیده است. [۲]

آمار محیطی و اطلاعات هواشناسی بندر انزلی در سایت سازمان هواشناسی قابل استحصال است. [۳] در مورد بندر انزلی جمع آوری اطلاعات از سال ۱۹۵۱ آغاز شده است. آمار حداقل و حداکثر درجه حرارت ماهیانه، تعداد روزهایی در ماه که در طی روز پدیده هایی مانند مه و طوفان در دریا رخ نداده است و غیره موجود می باشد. بطور مثال میانگین حداکثر دمای ماهانه در بالای ۹۸ درصد موارد از ۳۰ درجه سانتی گراد پایین تر است و میانگین حداقل دمای ماهانه در بالای ۹۵ درصد موارد از صفر درجه سانتی گراد بالاتر است همچنین در ۹۳۷ روز از سالهای ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ طوفان در دریا دیده نداشته است و آمار نشان می دهد بندر انزلی یک منطقه پر بارش و به طور متوسط بارش سالیانه آن بالای ۱۷۰۰ میلیمتر در روز می باشد. آمار باد منطقه نشان از وزش بادهایی با سرعت بالا در منطقه دارد. بنابراین رخ دادن پدیده مد طوفان قابل پیش بینی است. مد طوفان اساسا در اثر خیزاب باد (wind setup) و کاهش فشار جو حاصل از طوفانهای سنگین بوجود می آید که موجب نوسان سطح آب می گردد. تنشهای مماسی باد با توجه به اثرات دینامیکی تغییرات سریع سرعت باد و جهت آن پس از عبور مرکز طوفان تشدید می گردد. [۴]



## شرایط هیدرودینامیکی

با توجه به اطلاعات باد منطقه، محاسبات مربوط به مد طوفان در سه راستای جنوب، جنوب غرب و غربی انجام پذیرفته است. مقدار مولفه سرعت باد عمود بر ساحل ناشی از وزش باد غالب در جهت‌های مختلف به شرح زیر است:

برای باد غالب در جهت جنوب مولفه سرعت ۴/۰۵ متر بر ثانیه، برای باد غالب در جهت جنوب غرب مولفه سرعت ۴/۷ متر بر ثانیه و برای باد غالب در جهت غرب مولفه سرعت ۱/۶ متر بر ثانیه می باشد.

با توجه به توپوگرافی منطقه میزان مد طوفان با استفاده از معادله (۱) محاسبه شده است. [۵]

$$\frac{x}{l} = \left(1 - \frac{h + \eta}{h_0}\right) - A \times \ln \left( \frac{h + \eta - A}{h_0} \frac{1}{1 - A} \right) \quad \text{و} \quad A = \frac{n \tau_w l}{\rho g h_0^2} \quad (1)$$

که در آن  $x$  فاصله محل مورد مطالعه جهت تعیین مد طوفان از قسمت عمیق دریا،  $h$  عمق محل مورد مطالعه جهت تعیین مد طوفان،  $h_0$  عمق آب در حدفاصل قسمت عمیق دریا و فلات قاره نزدیک ساحل،  $l$  فاصله ساحل تا قسمت عمیق دریا،  $\tau_w$  تنش برشی بستر،  $\rho$  چگالی آب،  $g$  شتاب ثقل و  $n$  نسبت تنش اختلاف برداری تنش برشی سطح و بستر به تنش برشی سطح می باشد. [۶ و ۷] نتایج محاسبات مد طوفان در جدول ۱- آورده شده است.

جدول ۱- نتایج محاسبات مد طوفان

مدطوفان (سانتی متر)	سرعت باد	سمت
۲۹	۴/۰۵	جنوب
۳۸	۴/۷	جنوب غرب
۱۵	۱/۶	غرب

## مدلسازی دوبعدی جریان

از آنجا که شرایط آب کم عمق در منطقه مورد مطالعه برقرار است، از مدلسازی دو بعدی جریان استفاده شده است. معادلات حاکم بر مدل های دو بعدی در زیر آورده شده است. [۸]

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \beta_x \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \beta_x \frac{\partial(uvh)}{\partial y} = fvh - gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} + \tau_{xz} \Big|_{\zeta} - \tau_{xz} \Big|_{-h} \right] \quad (3)$$

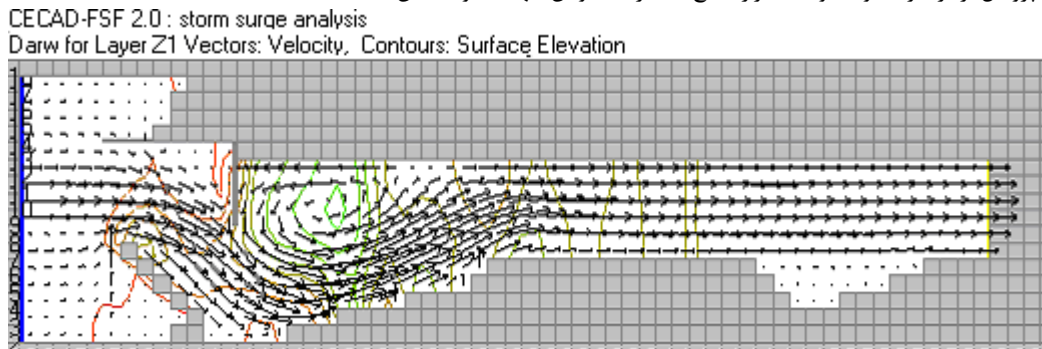
$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \beta_y \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} + \beta_y \frac{\partial(uvh)}{\partial x} = -fuh - gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial x} + \tau_{xz} \Big|_{\zeta} - \tau_{xz} \Big|_{-h} \right] \quad (4)$$

معادله (۲) معادله پیوستگی و معادله (۳) معادله اندازه حرکت در جهت  $x$  و معادله (۴) معادله اندازه حرکت در جهت  $y$  می باشد. در این قسمت برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی جریان، به مدلسازی جریان ناشی از مد طوفان در کانال اتصال و شاخه های منتهی به کانال اتصال پرداخته شده است. بدین منظور از مدول هیدرودینامیکی دو بعدی نرم افزار تحقیقاتی تهیه شده توسط نگارنده استفاده شده است. معادلات حاکم بر این مدل کامپیوتری همان معادلات (۲) تا (۴) بوده و همان بندی به صورت کارتیزین در نظر گرفته می شود. به منظور مدلسازی دقیق تر این امر طی دو مرحله انجام پذیرفته است. در مرحله اول، مد طوفان ناشی از وزش باد در دریا تا اواسط کانال اتصال مدلسازی شده است و در مرحله دوم از نتایج مدل اول استفاده شده و پارامترهای جریان در شاخه های منتهی به کانال اتصال پیش بینی شده است.



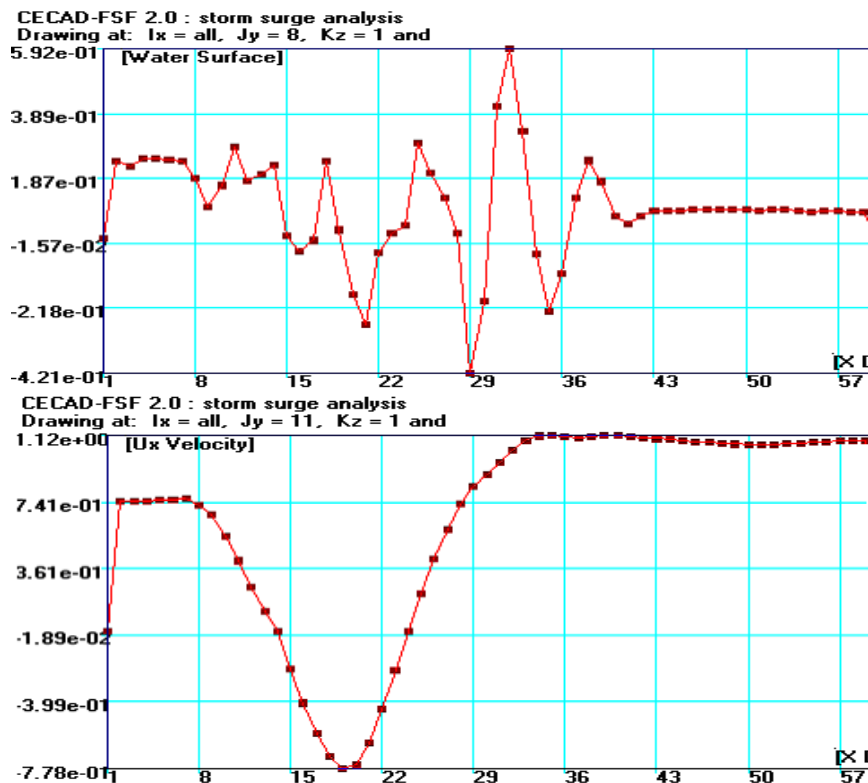
## مدلسازی کانال اتصال در محدوده A

با توجه به توپوگرافی منطقه هندسه مدل تعریف شده که بصورت شکل ۲ می باشد. شرط مرزی ورودی مدطوفان و شرط مرزی خروجی مرز نامعلوم در نظر گرفته شده است. در مدل مورد استفاده، مرز نامعلوم بعنوان مرزی که مشتقات مراتب بالای آن صفر است لحاظ می گردد. سطح تراز اولیه برابر صفر قرار داده شده است. بدین ترتیب سطح تراز متوسط قبل از وقوع مد طوفان صفر است. سپس مراحل مدلسازی، انجام پذیرفت و نتایج آن ارائه می گردد. در شکل ۲ پروفیل بردار سرعت و خطوط همتراز سطح آب در مد طوفان جهت جنوب نشان داده شده است.



شکل ۲- میدان محاسباتی منطقه شمال کانال اتصال پروفیل بردارهای سرعت و خطوط همتراز سطح آب در مد طوفان جهت جنوب

همانطور که در شکل (۲) قابل مشاهده است، گردابه‌ای در پشت دیواره موج شکن بعلت تنگ شدگی مسیر حرکت جریان بوجود آمده است. طول گردابه در مد طوفان ناشی از وزش باد در جهت غرب، جنوب غرب و جنوب به ترتیب ۰.۲، ۳/۲۵ و ۳ برابر طول دیواره تنگ کننده جریان است. در بازشدگی تدریجی منطقه انتهایی کانال اتصال تقریباً آب ساکن می باشد. در قسمت جنوب شرقی ورودی کانال اتصال به علت کم بودن میزان سرعت ناشی از مد طوفان، جریان آرامی حاکم است و از این لحاظ نسبت به بقیه نقاط ساحلی محل مناسب تری جهت احداث مراکز ساحلی می باشد. در شکل ۳-الف نمودار تراز سطح آب و در شکل ۳-ب سرعت طولی در مد طوفان ناشی از وزش باد در جهت جنوب غرب نشان داده شده است. تراز سطح آب در این مدطوفان به ۶۰ سانتی متر بالاتر از تراز متوسط سطح آب می‌رسد. سرعت خروجی از کانال اتصال نیز به ۱/۱۲ متر بر ثانیه خواهد رسید.

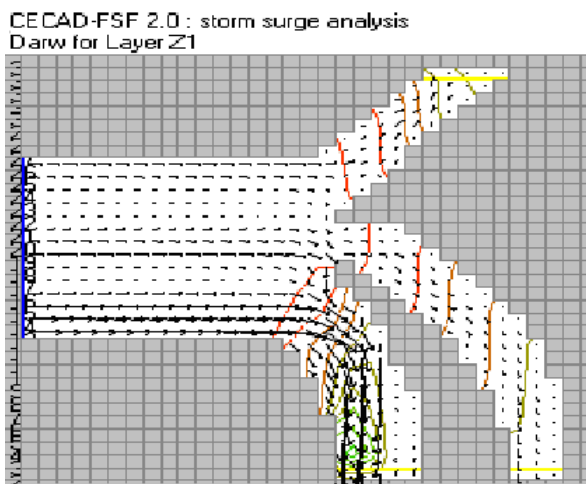


شکل ۳- (الف) نمودار بالا : تراز سطح آب (ب) نمودار پائین: سرعت طولی در مد طوفان ناشی از وزش باد در جهت جنوب غرب



## مدلسازی شاخه‌های منتهی به کانال اتصال در محدوده B

به منظور مدلسازی دقیقتر از نتایج مدلسازی کانال اتصال استفاده شده و پارامترهای جریان در شاخه‌های منتهی به کانال اتصال برای مدطوفان جهت جنوب غرب تعیین شده است. شرط مرزی خروجی نیز نامعلوم فرض شده است. هندسه مدل و پروفیل بردار سرعت و خطوط همتراز سطح آب در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۴) قابل مشاهده است، میزان سرعتهای خروجی در شاخه جنوب غربی بیشترین مقدار را داراست و بر اساس نتایج بدست آمده به ۱/۱۵ متر بر ثانیه می رسد. تراز سطح آب در شاخه جنوب شرقی بیشترین مقدار را داراست و به ۸ سانتی متر بالاتر از تراز متوسط سطح آب می رسد. میزان سرعتها در این شاخه از بقیه شاخه ها پایین تر است.



شکل ۴- میدان محاسباتی منطقه جنوبی کانال اتصال و پروفیل بردار سرعت و خطوط همتراز سطح آب در مد طوفان جهت جنوب غرب

## نتیجه گیری

در این تحقیق مدلسازی دوبعدی جریان ناشی از مد طوفان در کانال اتصال و ابتدای شاخه های منتهی به این کانال انجام پذیرفته است. نتایج نشان می دهد که مد طوفان جریان قابل توجهی ایجاد می نماید. سرعت وزش باد در جهت جنوب غربی دارای مولفه سرعتی در جهت عمود بر ساحل می باشد که باعث ایجاد مرتفع ترین مد طوفان در این منطقه است. ارتفاع این مد ۳۸ سانتی متر بوده و جریان ناشی از آن باعث ایجاد گردابه ای در پشت دیواره موج شکن به طول ۲/۲۵ برابر طول دیواره موج شکن خواهد بود. سرعت آب در قسمت انتهایی کانال اتصال به ۱/۱۲ متر بر ثانیه می رسد. در قسمت دوم مدلسازی، سرت در شاخه جنوب غربی بیشترین مقدار و معادل ۱/۱۵ متر بر ثانیه و عمق در شاخه جنوب شرقی بالاترین میزان و به اندازه ۸ سانتی متر بالاتر از تراز متوسط خواهد بود. گرافها و اطلاعات بیشتر در مورد نتایج مدلسازی در متن آمده است. از نتایج این مدلسازی میتوان در مطالعات تغییر کمیت‌های زیست محیطی و آلودگی آب داخل تالاب استفاده نمود.

## مراجع

- ۱- بوستانی فرشاد، طاهر شمسی احمد، علوی مقدم محمدرضا و موسوی سیدعلی، ۱۳۸۵، "مدل هیدرودینامیک تالاب انزلی و بررسی گسترش شوری در آن"، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست
- ۲- موسسه همکاریهای بین المللی ژاپن، ۱۳۷۴، "طرح جامع بنادر جمهوری اسلامی ایران"
3. <http://www.weather.ir>
- ۴- چگینی، وحید، ۱۳۷۷، "نظریه های موج" شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، چاپ اول.
5. Robert G. Dean, 1992, "Water Wave Mechanics For Engineering And Science", World Scientific Publishing Co.
6. Eng. Group, 1977, "Shore Protection Manual", US Army Corps of Engineering.
7. Eng. Group, 1998, "Coastal Engineering Manual", US Army Corps of Engineering.
8. Chippada, S. Dawson, C., 1998, "A Godunov-type finite volume method for the system of Shallow Water Equations" Computer methods in applied