

اثر بادهای دور از ساحل بر آبهای سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان

عبدالصمد رهنمانیا^۱، محمد رضا بنا زاده^۲

Abdossamad-2003@Yahoo.com

۱- کارشناسی ارشد رشته فیزیک دریا دانشگاه آزاد واحد تهران شمال
۲- استادیار رشته فیزیک دریا دانشگاه تربیت مدرس دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی

چکیده

در این مقاله اثر بادهای دور از ساحل را بر آبهای کم عمق خلیج فارس و دریای عمان در دو ایستگاه بوشهر و جاسک بررسی کردیم. در یک مشاهده علمی مشخص شده که اثر بادهای دور از ساحل باعث ایجاد گرادیان برآمدگی امتداد ساحلی از مرتبه 10^{-6} شده که جریانهای قابل توجهی را بوجود آورده است. معادلات خطی شده و انتگرال گیری شده عمق را بدست آورده. تنش کف را پارامتری کرده و سپس با گرفتن curl از این معادلات و استفاده از معادله پیوستگی معادله سهمی (Parabolic Equation) برای برآمدگی $\zeta(x,y)$ بدست می آید. یک مدل کف عبارت است از تغییرات خطی عمق با فاصله $(H=sx)$ و باد دور از ساحل روی آن عمل می کند که این فرض در منطقه مورد مطالعه با تقریب نسبتا خوبی برقرار است. معادلات را حل کرده بدین ترتیب منحنی های سه بعدی برآمدگی یا تغییر تراز را در مناطق مذکور را در زمانی از سال که سرعت باد دور از ساحل قوی تر بوده بوسیله نرم افزار Mathematica رسم کردیم. و در هر مورد گرادیان فشار امتداد ساحلی را محاسبه کردیم و در مورد آن بحث کردیم. نتایج نشان می دهد در صورتی که بادهای رو به زوال پیش می رود. ماکزیمم برآمدگی را داریم و هنگامی که تنش باد ماکزیمم است، برآمدگی صفر است. همچنین از منحنی ها مشخص است که در نزدیک ساحل تغییر تراز بیشتر است و با دور شدن از ساحل این مقدار کاهش می یابد. و همچنین تغییر تراز در امتداد ساحلی متغیر است. همچنین مشاهده می شود که حداکثر گرادیان های بالا آمدگی (elevation) چندین برابر 10^{-7} می باشد و نزدیک ساحل اتفاق می افتد.

واژگان کلیدی

باد دور از ساحل، گرادیان فشار، تغییر تراز، خطوط جریان، جریان های امتداد ساحلی

تاریخ دریافت مقاله : ۹۱/۲/۱۷

تاریخ پذیرفته شدن مقاله : ۹۱/۷/۱۳

۱- مقدمه

عبارت است از برش ناحیه تغییرات سریع بوسیله یک دیوار عمودی در $H=H_0$ و فرض تغییر خطی با X از x_0 به بعد می‌باشد:

$$H = sx \quad x > x_0 \quad (2-1)$$

S شیب کف می‌باشد و $x=x_0$ خط ساحلی می‌باشد شکل (۱) معادلات حرکت خطی شده و انتگرال‌گیری شده عمقی و معادله پیوستگی برای جریان پایا در غیاب گرادیان‌های چگالی افقی عبارتند از:

$$(2-2-1)$$

$$-fV = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F - F_b \quad (2-2-2)$$

$$+fU = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + G - G_b \quad (2-2-3)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$$

در اینجا U, V

انتقال‌ها می‌باشند و (F, G) تغییر سطح دریا و (F_b, G_b) مؤلفه‌های سینماتیکی تنش باد سطحی و (F_b, G_b) مؤلفه‌های مشابه تنش کف می‌باشند. این معادلات برای جریان غیر جزر ومدی به کار می‌رود، یا به عبارتی دیگر برای جریان میانگین‌گیری شده در یک دوره کامل جزر ومدی به کار می‌رود. یک حل ساده تعادلی این معادلات با تنش باد عمود بر ساحل محدود اما با حذف انتقال‌ها و تنش باد امتداد ساحلی و تنش کف عبارت‌اند از:

$$F_b, G_b = 0; G = 0; U, V = 0;$$

$$0 = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F \Rightarrow \zeta = \frac{1}{g} \int_{x_0}^x \frac{F}{H} dx \quad (2-3)$$

با قرار دادن $H=sx$ و $F=Const$ و در صورتیکه حد پایین انتگرال را صفر در نظر بگیریم $(x_0=0)$ ، در ζ یک تکنیکی ظاهر می‌شود. حل معادله (۲-۲) هنگامی که V و F_b مخالف صفر باشد شبیه رفتاری است که در ساحل هنگامی که $H \rightarrow 0$ می‌باشد. به طور فیزیکی این واقعیت نقض می‌شود که خطی کردن معادلات شامل همه نیروهای مهم در آب خیلی کم عمق نمی‌باشد. برای مثال تغییر تراز ساحلی مشاهده شده بوسیله امواج سطحی بوسیله معادلات (۲-۲)

بطور عمومی بادهای در امتداد ساحلی در فرایند تغییرات سطح ساحلی، جریانهای موازی ساحل و تغییرات فشار از بادهای عمود بر ساحل موثرترند. زیرا آنها می‌توانند سبب ایجاد جریانهای نسبتاً بدون مانع در راستای ساحل باز شوند. اما بادهای عمود بر ساحل حداقل زمانی که به قدر کافی قوی باشند می‌توانند نقش مهمی را در این ملاحظه داشته باشند. بادهای دور از ساحل باعث پدیداری جریانهای موازی ساحلی غربی که خیلی شدیدتر و متفاوت در توزیع مکانی و زمانی نسبت به انتقال ساده اکمن هستند، می‌شوند. می‌توان نشان داد که گرادیان فشار امتداد ساحلی به طور اساسی در برقراری جریانها و حفظ آن پس از زوال باد بر ورود باد مقدم می‌باشند. در این تحقیق ما اثرات این بادهای در دو ایستگاه بندر بوشهر و جاسک مورد بررسی قرار داده‌ایم که از داده‌های هواشناسی و توپوگرافی کف دریا که با ارائه مدل خطی در کف این بنادر ایجاد کرده‌ایم و با بررسی دینامیک نیروها گرادیان فشار ایجاد شده را محاسبه کرده و تفسیر کرده‌ایم.

۲- گرادیان فشار ایجاد شده بوسیله باد دور از ساحل

۲-۱- مدل فلات (Shelf Model)

فلات قاره ای را در نظر بگیرید که در راستای قسمت نسبتاً مستقیم خط ساحلی باشد. هر گونه انحنای خطوط هم عمق قابل چشم پوشی است و خط ساحلی بوسیله مدلی که با هم عمقها موازی است نشان داده می‌شوند. محور Y را موازی هم عمقها و محور X را عمود بر آن در نظر می‌گیریم بطوریکه مثبت محور X دور از ساحل (از ساحل به دریا) و مثبت محور Y رابه سمت شمال شرقی در نظر می‌گیریم. در این صورت عمق تنها تابعی از X می‌باشد. در 1-2 km اول عمق سریعاً کاهش می‌یابد ولی سپس این تغییر به کندی صورت می‌پذیرد. مدل معقول

۲-۲- پارامتری کردن تنش کف^۱

بر روی فلات داخلی در آبهای ساحلی با عمق ۱۰ تا ۳۰ متر، اصطکاک کف فاکتور دینامیکی بسیار مهمی می‌باشد. با قرار دادن مقادیر معمولی سرعتهای جریانهای غیر جزرومدی در آبهای ساحلی از مرتبه $10-30 \text{ cm.s}^{-1}$ ، تنش کف سینماتیکی (میانگیری شده بر روی یک دوره جزر ومد) بین $0.5 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2}$ و $2 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2}$ بدست می‌آید که با هم عمقها زاویه ۲۰-۰ درجه می‌سازد که از سرعتهای نزدیک کف نتیجه می‌شود. مؤلفه دور از ساحل F_b بدین ترتیب بین $0-3 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ بدست می‌آید حدود یک مرتبه بزرگی از $fV(1-10 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2})$ یا تنش باد دور از ساحل سینماتیکی F در رخدادهای باد قویتر ($1-3 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$) می‌باشد. حذف جمله F_b در معادله (۲-۲) بدین ترتیب تقریب قابل قبولی را در موازنه دینامیکی ارائه می‌دهد. نگه داشتن آن، محاسبات را در تناسب با اهمیتش پیچیده می‌کند. مؤلفه y تنش کف G_b در تناسب با سرعت میانگین عمقی ($\frac{V}{H}$) یا سرعت ژئوستروفیکی کف پارامتری می‌شود. این دو فرض عبارتند از:

$$G_b = r \frac{V}{H} \quad (2-5a)$$

$$G_b = r' \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (2-5b)$$

یک قانون اصطکاک خطی برای میانگین سیکل جزرومدی تنش کف اختصاص دارد. در آب غیر چینه‌بندی و با هر دو تنش سطحی و کف در محدوده $1-3 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ ، معادله (۲-۵a). الگوی پارامتری مناسبی برای $H < 30 \text{ m}$ می‌باشد. در آبهای عمیق جایی که تنش باد دور از ساحل می‌تواند بوسیله نیروی کوریولیس ناشی از جریان امتداد ساحلی که فقط بر روی قسمت بالایی ستون آب گسترش دارد، موازنه شود. معادله (۲-۵b). مناسب می‌باشد. فاکتورهای Γ, Γ' ضرایب باقیمانده ابعادی سرعت با مقادیر نوعی $0.01-0.1 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ می‌باشند.

نمی‌تواند توصیف شود. از سوی دیگر، دقت رفتار آبهای خیلی کم عمق با صرفنظر جرم کل در مقایسه با جرم آب فلات بر خلاف تاثیر رفتار آبهای بعد از دور از ساحل می‌باشد. بالا روی ناشی از موج در فاصله‌های بیشتر از ۱۰۰ متر کاهش می‌یابد و گرادیان‌های امتداد ساحلی مربوط به آن در آبهای عمیق احساس نمی‌شود.

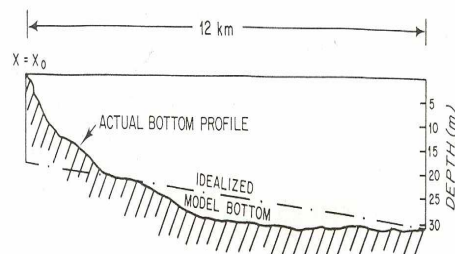
حالت مرزی مهم در معادله (۲-۲) عبارتند از: در ساحل، انتقال نرمال صفر است (این فرض در مورد آبهای با عمق چند متر به خوبی $H=0$ ، صحیح می‌باشد). مشکل صفر شدن مخرج در معادله (۲،۳) براحتی با قرار دادن $x_* \neq 0$ حل می‌شود شکل (۱). اگر $H = H_*$ عمق در ساحل باشد از معادله (۲،۳) نتیجه می‌شود:

$$\Delta \zeta = \frac{1}{g} \int_{x_*}^x \frac{F}{H} dx \rightarrow \zeta - \zeta_* = \frac{1}{g} \int_{x_*}^x \frac{F}{sx} dx \rightarrow \zeta - \zeta_* = \frac{1}{g} \cdot \frac{F}{s} \ln\left(\frac{x}{x_*}\right)$$

$$\rightarrow \zeta - \zeta_* = \frac{1}{g} \cdot \frac{F}{s} \ln\left(\frac{sx}{sx_*}\right)$$

$$\rightarrow \zeta - \zeta_* = \frac{1}{g} \cdot \frac{F}{s} \ln\left(\frac{H}{H_*}\right) \quad (2-4)$$

حتی با H_* به کوچکی ۱ متر تغییر تراز محاسبه شده از این معادله واقعی است و از مرتبه مشاهده شده می‌باشد. با قرار دادن $H_* = 1 \text{ m}$ و $H = 100 \text{ m}$ و $s = 10^{-3}$ و $F = 2 \text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$ ، نتیجه می‌شود که: $\zeta - \zeta_* \cong 10 \text{ cm}$ با تغییر H_* از ۱ متر به ۱۰ متر این مقدار نصف می‌شود.



شکل (۱) توزیع عمق واقعی در راستای عمود بر ساحل و مدل ایده‌ال شده

^۱ - Stress Bottom of Parameterization

۳-۲- مدل باد عمود بر ساحل سینوسی^۱

با جایگذاری (۲-۵a) در (۲-۲) و گرفتن کرل، معادله سهمی برای $\zeta(x, y)$ بدست می آید.

$$\frac{r}{f} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{dH}{dx} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial G}{\partial x} - \frac{\partial F}{\partial y} \right) + \frac{r}{fgH} \left(\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{dH}{dx} \frac{F}{H} \right) \quad (2-7)$$

صورت جدید مهم جمله دوم نیرو در معادله (۲-۷) می باشد که به تنش باد عمود بر ساحل F بستگی دارد و همچنین متناسب با فاکتور اصطکاکی r می باشد. اگر (۲-۵b) را به جای (۲-۵a) برای پارامتری کردن کف بکار ببریم، این جمله نیرو حذف خواهد شد. همانگونه که قبلا گفته شد جمله نیروی جدید فقط در آب کم عمق برای سرعت میانگین عمق برای تعیین تنش کف دیده می شود که برای حالتی است که عمق برابر یا کمتر از عمق اکمن باشد. با استفاده از مدل شیب ساحل ساده (۲-۱):

$$\frac{dH}{dx} \frac{F}{H} = \frac{F}{x} \leq \frac{F}{x_0}$$

مرتبه بزرگی جمله فوق $10^{-6} cm^2 s^{-2}$ می باشد. در مقایسه با $\frac{\partial F}{\partial x}$ که $10^{-7} - 10^{-8} cm.s^{-2}$ می باشد، جمله نیروی جدید بوسیله $\frac{F}{x}$ مغلوب می شود. اگر این جمله بوسیله جمله شیب امتداد ساحلی یعنی سمت چپ معادله (۲-۷) (از دیدگاه فیزیکی معادل کشش تاوایی می باشد) موازنه شود، شیب امتداد ساحلی باید به صورت زیر باشد:

$$\frac{dH}{dx} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{r}{fgH} \left(-\frac{dH}{dx} \frac{F}{H} \right) \rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{r}{fH} \cdot \frac{F}{gH} = O(10^{-6}) \quad (2-8)$$

توزیع حقیقی برآمدگی البته به دیگر جمله های (۲-۷) نیز بستگی دارد بخصوص در شرایط مرزی. بعلت خطی بودن معادله (۲-۷) در اینجا لازم است تنها اثر بادهای عمود بر ساحل را بررسی کنیم. بدلیل اینکه جمله $\frac{\partial F}{\partial x}$ نسبتا نامهم بوده یک فرض ایده آل از

شرط مرزی در ساحل عبارتند از: در $U=0, x=x_0$ (زوال انتقال جرم عمود بر ساحل). از معادله (۲-۲-۲) با الگوی پارامتری (۲-۵a) شرط مرزی متناظر عبارتند از:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{fH_0}{r} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{1}{gH_0} [F + \frac{fH_0}{r} G] \quad (x=x_0) \quad (2-6)$$

این رابطه بصورت زیر بدست می آید:

از معادله (۲-۲-۱) نتیجه می شود:

$$V = \frac{gH}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{F}{f} \quad (I)$$

با جایگذاری معادله (۲-۵.a) در معادله (۲-۲-۲) و اعمال شرط مرزی $U=0, x=x_0$ خواهیم داشت:

$$fU = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + G - r \frac{V}{H} \quad (II)$$

از (I) و (II) نتیجه می شود:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{fH_0}{r} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{1}{gH_0} [F + \frac{fH_0}{r} G] \quad (x=x_0)$$

استفاده از معادله (۲-۵b)، حالت مشابهی را بوجود می آورد که در آن جمله F حذف شده و Γ' جایگزین شده است:

$$(2.2.2), (2.5.b) \rightarrow fU = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + G - r' \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

$$0 = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + G - r' \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (x=x_0)$$

$$(x=x_0)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{fH}{r'} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{Gf}{r'g}$$

در غیاب نیروهای محلی یعنی $F=0, G=0$ و با قرار دادن $\frac{fH_0}{r} = 1$ (یک مقدار نوعی)، خطوط برآمدگی ثابت، ساحل را با زاویه 45° قطع می کند. به طور فیزیکی جمله گرادیان فشار امتداد ساحلی با تنش کف موازنه شده، دومی که متناسب با سرعت امتداد ساحلی می باشد از این پس با گرادیان فشار عمود بر ساحل متناسب خواهد بود. در صورتیکه $\frac{r}{f}$ و H_0 برابر باشند دو گرادیانها با هم برابر بوده و بدین ترتیب زاویه 45° خواهد بود.

¹ - Sinusoidal Cross-Shore Wind Model

فاصله‌های امتداد ساحلی به بهترین صورت بوسیله عکس عدد موج k^{-1} ، بی بعد می‌شوند. بدین ترتیب متغیرهای بدون بعد زیر مشخص می‌شوند:

$$y^* = ky \text{ و } x^* = \frac{x}{L} \text{ و } \zeta^* = \frac{\zeta}{\zeta_a} \quad (2-12)$$

معادله (۲-۷) با فرم بدون بعد و با $G=0$ و F مطابق با (۲-۹) به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*} + 2x^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial y^*} = \frac{\cos(y^*)}{x^*}$$

$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial x^{*2}} + 2 \frac{\partial \zeta^*}{\partial y^*} = -\frac{\cos(y^*)}{x^{*2}} + 2 \sin(y^*) \quad (2-13)$$

شرط مرزی (۲-۶) به طور مشابه به صورت زیر در می‌آید:

$$x^* = x^* \quad (2-14)$$

برای سادگی ستاره را برداشته و پس از انجام محاسبات دوباره ستاره را قرار می‌دهیم دو جمله نیرو در (۲-۱۳) را جداگانه بررسی خواهیم کرد. ابتدا معادله (۲-۱۳) را با اولین جمله نیرو بررسی می‌کنیم. برای این جمله نیرو یک حل به دام افتاده ساحلی اختصاص دارد. بدین ترتیب شرط مرزی در بی‌نهایت اعمال می‌شود:

$$\zeta \rightarrow 0 \text{ هنگامی که } x \rightarrow \infty \quad (2-15)$$

حل این معادله به صورت زیر است:

$$Z(x) = AZ_1(x) + BZ_2(x) + I(x) \quad (2-16)$$

$$\zeta = Z(x)e^{iy} \text{ که در آن:}$$

$$Z_1(x) = e^{(1-i)x} \quad Z_2(x) = e^{-(1-i)x} \quad (2-17)$$

$$I(x) = \frac{1}{2} \int_{x_0}^x [Z_1(x)Z_2(x') + Z_2(x)Z_1(x')] \frac{dx'}{x'} \quad (2-18)$$

شرط مرزی در بی‌نهایت، مقدار ثابت موهومی A می‌باشد:

$$A = -\frac{1}{2} E_1[(1-i)x_0] \quad (2-19)$$

در آن $E_1[\]$ تابع وابسته به انتگرال نمایی می‌باشد. از شرط مرزی در ساحل یعنی معادله (۲-۱۴) ثابت B بصورت زیر بدست می‌آید:

میدان باد این است که F تنها به y وابسته می‌باشد. تغییرات سینوسی احتمالاً اثرات فیزیکی مهمی را دارا می‌باشد. محاسبه زیر پایه‌ای در مدل تنش باد می‌باشد:

$$F = F_1 \cos(ky) \quad (2-9)$$

F_1 در اینجا دامنه (ثابت) و k عدد موج امتداد ساحلی تنش باد می‌باشد. جمله‌های نیرو در معادله (۲-۷) با F بدست آمده از (۲-۹) چنین خواهد شد:

$$\frac{1}{g} \left(\frac{\partial G}{\partial x} - \frac{\partial F}{\partial y} \right) + \frac{r}{fgH} \left(\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{dH}{dx} \frac{F}{H} \right)$$

$$= \frac{1}{g} [kF_1 \sin(ky)] + \frac{r}{fgH} \left[0 - \frac{dH}{dx} \frac{F_1 \cos(ky)}{H} \right]$$

$$= \frac{kF_1}{g} \sin(ky) - \frac{rF_1}{fH^2 g} \frac{dH}{dx} \cos(ky)$$

با مقادیر نوعی $k = 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ و $F_1 = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ و $H_0 = 10 \text{ m}$ و $\frac{dH}{dx} = 10^{-3}$ و $r = 0.1 \text{ cm.s}^{-1}$ این دو جمله در ساحل عبارتند از: $10^{-9}, 10^{-10}$. دور از ساحل جمله دوم سریعاً کاهش می‌یابد و در عمق‌های بیش‌تر از ۳۰ متر کوچک می‌شود. این نتیجه خوب بوده زیرا در عمق‌های بیش‌تر از ۳۰ متر، معادله (۲-۵b) باید جایگزین (۲-۵a) شود به طوری‌که این ترم منبع از معادله حذف می‌شود.

۲-۴- محاسبه تغییر تراز سطحی

مناسب است که فاصله‌های عمود بر ساحل با مقیاس طولی بی‌بعد شود:

$$L = \sqrt{\frac{2r}{fks}} \text{ (مسافت بی‌بعد)} \quad (2-10)$$

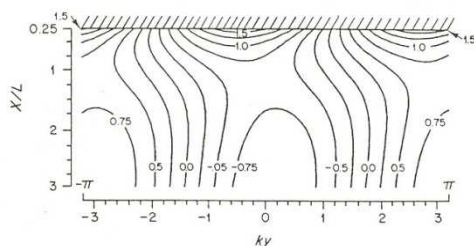
تغییرات بالا آمدگی مهم در صورتی است که $\frac{x}{L}$ از مرتبه واحد باشد. به استثنای در حدیکه شرایط مرزی در بی‌نهایت تغییرات بالا آمدگی را شامل شود. همانطور که قبلاً در معادله (۲-۴) دیدیم بالا آمدگی‌ها متناسب با دامنه نیرو می‌باشند.

$$\zeta_a = \frac{F_1}{gs} \quad (2-11)$$

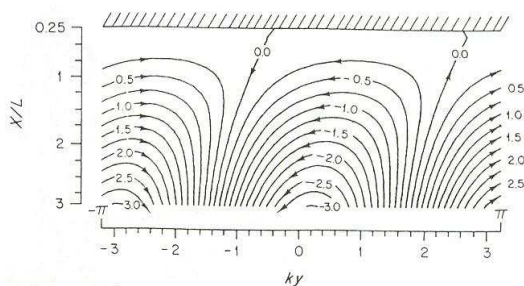
$$\zeta^* = \zeta^*(x^*, y^*) \quad (2-25)$$

عبارت صریح برای قسمت حقیقی بعد از انجام یک سری محاسبات و جدا کردن ثابتها در دو قسمت حقیقی و موهومی و غیره بدست می‌آید. مقدار نوعی x_* کوچکتر از واحد می‌باشد. بنابراین بسط E_1 در توان‌های x_* می‌تواند بطور سودمندی در این محاسبات استفاده شود.

توزیع برآمدگی سطحی با توجه به معادله (۲-۲۳) برای مقدار $x_* = 0.25$ محاسبه شده است. جمله‌های ابعادی اگر $x_* = 10 \text{ km}$ با $H_* = 10 \text{ m}$ و $s = 10^{-3}$ و $f = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ و $r = 0.1 \text{ cm.s}^{-1}$ در صورتی که طول موج امتداد ساحلی $\frac{2\pi}{k}$ نیرو، 500 کیلومتر باشد یا به عبارتی دیگر اگر $k = 1.25 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ باشد، یک مقیاس طولی 40 کیلومتر از معادله (۲-۱۰) بدست می‌آید محاسبه توزیع بالا آمدگی سطحی در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است



شکل (۲) خطوط کنتور رسم شده توزیع تغییر تراز سطحی محاسبه شده برای مدل ساحل مسطح شیبدار مستقیم با تغییرات سینوسی باد. قله تنش باد دور از ساحل در $ky=0$ می‌باشد اما مینم تراز سطح در $ky=-0.4$ اتفاق می‌افتد.



شکل (۳) پروژه سه محوری، میدان بالا آمدگی سطحی نشان داده شده در شکل (۲-۳) تغییر حداکثر برآمدگی، نزدیک ساحل رخ میدهد.

$$B = A \frac{2 - 4x_*^2 + 4ix_*}{1 + (1 + 2x_*)^2} e^{2(1-i)x_*} \quad (2-20)$$

بر می‌گردیم به معادله (۲-۱۳)، با در نظر گرفتن دومین جمله نیرو در سمت راست، فرم حلی به صورت (۲-۱۶) می‌توان جستجو کرد. شرط مرزی در بی‌نهایت این است که Z محدود باقی بماند. حل این قسمت از نیرو نمی‌تواند در ساحل بدام افتاده باشد. برای اینکه نیرو در $x \rightarrow \infty$ محدود باقی می‌ماند. موازنه تمایل ورتی سیتی در فاصله‌های بزرگ از ساحل این است که کرل تنش باد مساوی با جمله کشش ورتکس (که ناشی از جریان ژئوستروفیک قطع کننده هم عمقها است و متناسب با $\frac{\partial \zeta}{\partial y}$ می‌باشد) باشد. در فرم بدون بعد به سادگی $Z = -1$ یا $\zeta = -\text{Cos}(y)$ خواهد بود. جایی که تنش باد دور از ساحل ماکزیمم می‌باشد، برآمدگی سطحی مینم است و برعکس. حل معادله (۲-۱۳) با فرم (۲-۱۶) و با فقط دومین نیروی باقیمانده و با شرط مرزی محدود ماندن در $x \rightarrow \infty$ عبارت اند از:

$$Z = -1 + C e^{-(1-i)x} \quad (2-21)$$

که ثابت C از شرط مرزی در ساحل معادله (۲-۱۴) بدست می‌آید:

$$C = -e^{-(1-i)x_*} \left[\frac{1 - 2x_*^2 + 4x_*^3 + i(1 + 2x_* + 4x_*^2)}{x_* [1 + (1 + 2x_*)^2]} \right] \quad (2-22)$$

حل ترکیبی (با هر دو جمله نیروی باقیمانده در سمت راست معادله (۲-۱۳) و با فرم (۲-۱۶) بدین ترتیب بصورت زیر خواهد بود:

$$Z(x) = -1 + I(x) + A e^{(1-i)x} + (B + C) e^{-(1-i)x} \quad (2-23)$$

در نتیجه خواهیم داشت.

$$\zeta = \text{Re al}[Z(x) e^{iy}]$$

با قرار دادن ستاره‌ها خواهیم داشت:

$$\zeta^* = \text{Re al}[Z(x^*) e^{iy^*}] \quad (2-24)$$

بدین ترتیب ζ^* بر حسب x^*, y^* مشخص می‌شود.

$$\psi^* = \frac{f\psi}{F_1 L} \quad (2-27)$$

فرم بی بعد معادله (۲-۲۶) به صورت زیر بدست می آید:

$$\Rightarrow \frac{\partial x^*}{\partial x} = \frac{1}{L} \quad (2-28)$$

$$\frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} = \frac{\frac{\partial \psi}{\partial x}}{\frac{\partial x^*}{\partial x}} = \frac{f}{F_1 L} \frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{f}{F_1} \frac{\partial \psi}{\partial x} \Rightarrow \frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{F_1}{f} \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*} = \frac{\frac{\partial \zeta}{\partial x}}{\frac{\partial x^*}{\partial x}} = \frac{1}{L} \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{L}{\zeta_a} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \Rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{\zeta_a}{L} \frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*}$$

در نتیجه معادله (۲-۲۶) بصورت زیر خواهد شد

$$\frac{F_1}{f} \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} = \frac{gs(x^* L)}{f} \frac{\zeta_a}{L} \frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*} - \frac{F_1}{f} \text{Cos}(y^*)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} = \frac{gsx^* (\frac{F_1}{f})}{F_1} \frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*} - \text{Cos}(y^*)$$

$$\frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} = \frac{gsx^* \zeta_a}{F_1} \frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*} - \text{Cos}(y^*)$$

$$\frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} = x^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial x^*} - \text{Cos}(y^*)$$

با انتگرال گیری خواهیم داشت:

$$\psi^* = x^* \zeta^*(x^*) - x^* \zeta^*(x_a^*) - \int_{x_a^*}^{x^*} \zeta^*(x^*) dx^* - (x^* - x_a^*) \text{Cos}(y^*) \\ = \psi^*(x^*, y^*) \quad (2-29)$$

شرط مرزی اعمال شده در معادله فوق عبارتند از در $x = x_a^*$ ، $\psi = 0$ ، بنابراین $\psi^* = \psi^*(x^*, y^*)$ مشخص می شود.

الگوی حاصله خطوط جریان انتقال در شکل (۴) نشان داده شده است ($x_a^* = 0.25$) در نظر گرفته شده است.

مشاهده می شود تپه ها و فرورفتگی های بزرگتر قسمت به دام افتاده میدان (در $x - x_a < L$) نسبت به کنتورهای عمود بر ساحل نسبتاً کوچکتر دور از ساحل به آهستگی ترکیب می شوند. در ساحل یک تغییر فاز ناچیز بین ماکزیمم باد دور از ساحل (در $Y = ky = 0$) اعمال می شود) و مینم برآمدگی وجود دارد که در $ky = -0.4$ رخ می دهد. در هنگام مشاهده این مثالها باید در نظر داشت که مقیاس سه محور متفاوت است. در راستای محور y ، فاصله ها با فاکتور ۲ کشیده شده اند، یک واحد معادل ۴۰ کیلومتر می باشد. در راستای عمودی، دامنه دور از ساحل متناظر با 1 cm می باشد که مقدار نوعی آن 1 cm می باشد ($F_1 = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$). حداکثر گرادیان های بالا آمدگی امتداد ساحلی در این مشاهدات دیده می شوند که نوعاً چندین برابر 10^{-7} می باشد و نزدیک ساحل اتفاق می افتد.

۲-۵- محاسبه خطوط جریان^۱

مفهوم فیزیکی نتایج بالا بوسیله تعیین این که انتگرال عمقی انتقال ها (U, V) با توزیع برآمدگی سطحی محاسبه شده وابسته می شوند، روشن می شوند. با توجه به اینکه (U, V) ها در مدل حالت پایا ناواگرا هستند. تابع جریان انتقال ψ به سادگی به صورت زیر معین می شود:

$$V = -\frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad U = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (2-25)$$

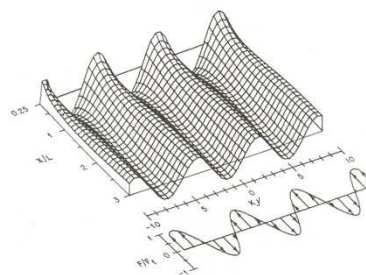
با توجه به اینکه ζ محاسبه شده است، ψ را می توان بوسیله انتگرال گیری از معادلات (۲-۲) بدست آورد.

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{gsx}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{F_1}{f} \text{Cos}(ky) \quad (2-26)$$

که ساحل، صاف شیب دار و تغییرات باد دور از ساحل سینوسی فرض شده است.

یک فرم ساده بدون بعد تابع جریان بصورت زیر خواهد بود:

¹ - Calculation Of Stream Line



شکل (۴) الگوی خطوط جریان انتقال متناظر با میدان برآمدگی نشان داده شده در شکل ۲۲. جریان ناشی از گرادیان امتداد ساحلی خیلی نزدیک به ساحل حرکت می‌کند.

جالب توجه است که در الگوی جریانها هنگامی ماکزیمم است که باد عمود بر ساحل زوال پیدا می‌کند. تابع تپه‌ها و فرورفتگی‌ها در امتداد عمود بر ساحل در نقشه (x, y) حالا مشخص شده است. نزدیک ساحل یک الگوی جریان خیلی پیچیده تا حدی بزرگتر و تپه‌ها و فرورفتگی‌های اریب لازم است. درست در ساحل موازنه اندازه حرکت بصورت موازنه گرادیان فشار و تنش کف می‌باشد. برای تفسیر این الگو در زمینه مشاهدات انجام شده نزدیک ساحل، سلول گردشی مرکزی در شکل ۲۴ را در نظر بگیرید که Y از $-\frac{\pi}{2}$ به $\frac{\pi}{2}$ در دور دست ساحل گسترش داده شده است. در ساحل سلول در فاز بین $Y = -0.4$ به $Y = 2.7$ می‌باشد. اگر یک فرضی بکنیم که این نمونه به آهستگی به مثبت Y پیش می‌رود. (متناظر با حرکت شرقی سیستم آب و هوایی)، یک جریان نزدیک ساحل به منفی Y به بالا آمدن مشاهده می‌شود که اغلب اوقات نسبت به بادهای دور از ساحل مقدم می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد، این جریان، جریان رانشی گرادیان فشار می‌باشد.

۳- نتایج در منطقه مورد مطالعه

۳-۱- بررسی مسئله

در بخش قبلی ساحل شیبدار مسطح و با تغییرات شیب خطی را در نظر گرفتیم. و الگوی باد به گونه‌ای در نظر گرفتیم و با فرض این که مؤلفه تنش باد دور

از ساحل خیلی قوی تر از مؤلفه تنش باد امتداد ساحلی است (یعنی از G در مقابل F صرفنظر کردیم) با پارامتری کردن تنش کف و موازنه نیروها و گرفتن کرل یک معادله سهمی برای برآمدگی آب ζ بدست آمد. سپس این معادله را حل کردیم. و خطوط تراز را نیز محاسبه کردیم. با توجه به اینکه برای حل معادله از پارامترهای بدون بعد استفاده کردیم این نتایج می‌تواند برای منطقه مورد مطالعه ما مورد استفاده واقع شود فرض می‌کنیم منطقه مورد مطالعه ما دارای ساحل مستقیم نسبتاً ناپیچیده و مستقیم باشد و خطوط هم عمق موازی با ساحل باشد (به صورت تقریبی این فرض درست می‌باشد). و همچنین تغییرات عمق با فاصله را به صورت خطی در نظر می‌گیریم. (این فرض از ساحل تا عمق مشخصی می‌تواند درست فرض شود)

نکته قابل توجه این است که اثر بادهای موازی ساحل در فرایندهای تغییر برآمدگی، جریان‌های امتداد ساحلی و اختلاف فشار نسبت به بادهایی که عمود بر ساحل هستند مؤثر می‌باشند. زیرا آنها می‌توانند جریان نسبتاً بدون مانع در امتداد ساحل باز ایجاد کنند. با این وجود بادهای دور از ساحل نقش قابل ملاحظه‌ای را دارد حداقل هنگامی که به اندازه کافی قوی باشد. در مورد هاریکن‌ها نقش بادهای دور از ساحل در تراز ساحلی دریا و جریان‌های ماکزیمم واقعاً مهم می‌باشد. در واقع در یک هاریکن اثر بادهای دور از ساحل و بادهای امتداد ساحلی تقریباً یکسان است [1]

زمان مورد مطالعه را زمانی در نظر می‌گیریم که در آن زمان، باد در امتداد عمودی ساحل به دریا باشد. بدین ترتیب می‌توان از G صرفنظر کرد. و با فرض تغییر تنش باد در امتداد ساحل به صورت سینوسی می‌توان معادله (۷-۲) را با تقریب خوبی بکار برد. طول موج تنش باد را برای سواحل خلیج فارس و دریای عمان می‌توان ۳۰۰ کیلومتر تخمین زد. ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد در حالت استاندارد

برای محاسبه خطوط جریان از معادله (۲-۲۹) استفاده می‌کنیم برای تبدیل این معادله به حالت ابعادی از معادلات (۲-۱۲) و (۲-۲۶) استفاده می‌کنیم:

$$\frac{f\psi}{F_1 L} = \psi^* \left(\frac{x}{L}, ky \right) \rightarrow \psi = \frac{F_1 L}{f} \psi^* \left(\frac{x}{L}, ky \right) = \psi(x, y) \quad (3-3)$$

$$\psi(x, y) = \frac{F_1 L}{f} \psi^* \left(\frac{x}{L}, ky \right) \quad (3-4)$$

همانطوری که از معادله (۳-۲) و (۳-۳) مشخص است در $\zeta(x, y)$ و $\psi(x, y)$ به شرایط منطقه بستگی دارد. L در این معادلات از معادله (۲-۱۰) بدست می‌آید. با توجه به معادله (۲-۲۴) و (۲-۲۹)، توابع ψ^* ، ζ^* مشخص هستند در نتیجه با توجه به (۳-۲) و (۳-۴) توابع $\zeta = \zeta(x, y)$ و $\psi = \psi(x, y)$ معلوم است.

با استفاده از برنامه نرم افزاری Mathematica (که یک برنامه نرم‌افزاری ریاضی پیشرفته می‌باشد)، تابع برآمدگی‌ها یعنی $\zeta = \zeta(x, y)$ و در مناطق مورد نظر و در ابعادی که به آبهای کم عمق مربوط می‌شود رسم شده است.

۳-۲- بررسی اثر بادهای دور از ساحل در بندر بوشهر

بندر بوشهر در بین عرضهای شمالی $27^{\circ} 52'$ و 29° و طولهای شرقی $50^{\circ} 48'$ و $50^{\circ} 52'$ واقع شده است. نقشه هیدروگرافی (آبنگاری) بندر بوشهر در شکل 3.1 نشان داده شده است. در این شکل مکان برش عرضی مشخص شده است. مطابق این برش جهت محور X ها که عمود بر ساحل انتخاب شده است که شمال شرقی-جنوب غربی است و جهت محور Y ها عمود بر محور X ها می‌باشد که جهت آن شمال غربی-جنوب شرقی است. در نتیجه مثبت محور X ها به طرف جنوب غربی و جهت مثبت محور Y ها بسمت جنوب شرقی است. شکل (۵) را ببینید.

مقدار عددی عمق بر حسب فاصله از ساحل در جدول (۱) آورده شده است.

SPM برابر ۱۰ متر در نظر گرفته می‌شود و هر گونه تغییر در ارتفاع محل اندازه گیری سرعت باد باعث کاهش یا افزایش اعداد ثبت شده می‌گردد که بایستی اصلاح گردد (بدلیل اینکه ضریب دراگ استاندارد C_D با فرض اینکه سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری به عنوان سرعت باد اندازه گیری شده می‌باشد به صورت $C_D = 1.3 \times 10^{-3}$ تعریف شده است) محاسبه ضریب اصلاح بر اساس فرمول زیر انجام می‌گیرد که ضریب R_z باید در سرعت u باد ضرب گردد.

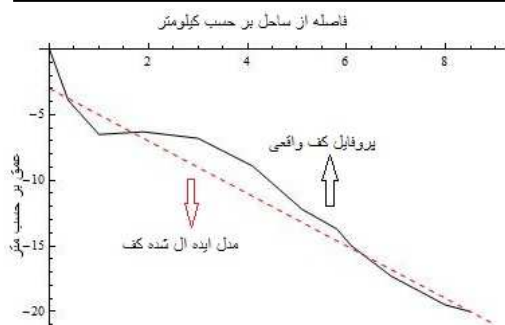
$$u_{10} = u_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} = R_z u_z \quad (3-1)$$

نکته قابل توجه این است که ممکن است این فرض‌ها خطاهای قابل توجهی در ارقام محاسبه شده بوجود آورد. جواب این است که ممکن است در حقیقت چنین باشد ولی هدف ما مقدار دقیق عددی نمی‌باشد، بلکه می‌خواهیم از محاسبات، مفهوم فیزیکی برای مسئله بدست آوریم بعنوان مثال با بدست آوردن گرادیان فشار افقی از مرتبه 10^{-6} ، وجود گرادیان فشار قابل توجه که می‌تواند منجر به ایجاد جریان‌های در امتداد ساحلی شود را استنتاج کنیم.

نکته دیگر این که با توجه به این که متغیرهای موجود در معادله (۲-۱۳) بی‌بعد می‌باشند این معادله می‌تواند در مورد هر ساحلی که مسطح و شیب آن یکنواخت باشد بکار برود. و تفاوت در تبدیل آن به حالت ابعادی است که باید در آنجا شرایط منطقه را در نظر گرفت.

برای تبدیل به حالت ابعادی از معادلات (۲-۱۱) و (۲-۱۲) استفاده می‌کنیم و در نتیجه معادله (۲-۲۴) در حالت ابعادی به صورت زیر خواهد بود:

$$\zeta^* = \zeta^* \left(\frac{x}{L}, y^* \right) \rightarrow \zeta = \zeta_a \zeta^* \left(\frac{x}{L}, ky \right) \rightarrow \zeta = \frac{F_1}{g_s} \zeta^* \left(\frac{x}{L}, ky \right) = \zeta(x, y) \quad (3-2)$$



شکل (۶) توزیع عمق بر حسب فاصله و مدل ایده ال شده آن در برش عرضی مورد نظر واقع در بندر بوشهر

با توجه به اینکه اثر باد دور از ساحل مورد نظر ماست. باید بادی را در انتخاب کنیم که شمال شرقی باشد و نسبتاً قوی باشد. زمان بهتر ماه فوریه می باشد که در آن هم تعداد بادهای شرقی نسبت به بقیه ماهها بیشتر است و هم میانگین سرعت باد شمال شرقی در آن نسبت به بقیه ماهها بیشتر می باشد لازم به ذکر است که اثر باد در تغییر برآمدگی و غیره، موقتی می باشد. پس از زوال باد برآمدگی ها به صورت جریان های در امتداد ساحل ظاهر شده و سطح تراز دریا به حالت اولیه بر می گردد. بنابراین اثر بادهای ماههای قبل از بین رفته است و می توان از تاثیر آنها چشم پوشی کرد.

در ماه فوریه میانگین سرعت باد $4m/s$ می باشد. تنش باد ناشی از این باد از قانون ضریب دراگ استاندارد مربعی محاسبه می شود: $\tau_x = \rho_a C_D W^2$ که در آن ρ_a و C_D و W به ترتیب چگالی هوا، ضریب دراگ استاندارد و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا می باشد.

معادلات (۲-۲)، معادلات انتگرال گیری شده عمقی می باشند در نتیجه:

$$F = \int_{-H}^0 \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_x}{\partial z} dz \rightarrow F = \frac{\tau_0 - \tau_H}{\rho} = \frac{\tau_0}{\rho} = \frac{\rho_a C_D W^2}{\rho}$$

با توجه به اینکه جهت باد عمود بر ساحل می باشد در نتیجه مؤلفه امتداد ساحلی صفر است ($G=0$). بقیه پارامترها به صورت زیر است:

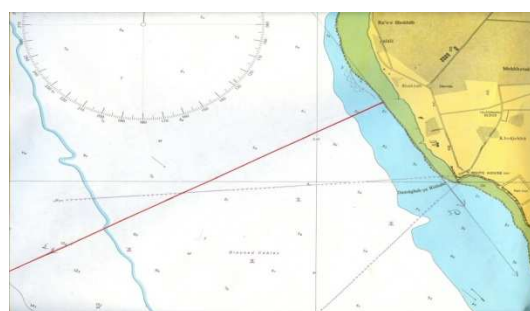
جدول (۱) جدول عمق بر حسب فاصله

فاصله (Km)	۰,۳۸	۱	۱,۹	۳	۴,۱	۵,۱
عمق (m)	۳,۹	۶,۵	۶,۳	۶,۸	۸,۹	۱۲,۲
فاصله (Km)	۵,۸	۶,۱	۶,۹	۸	۸,۵	
عمق (m)	۱۳,۷	۱۵	۱۷,۳	۱۹,۵	۲۰	

در شکل (۶) پروفیل عمق واقعی و مدل ایده ال شده نشان داده شده است.

تقریباً در ۱-۲ کیلومتر اول تغییرات عمق با فاصله از ساحل بسیار سریع بوده و سپس این تغییرات یکنواخت می شود. مدل ایده ال شده کف این است که ناحیه تغییرات سریع عمق با فاصله را برش داده و با یک دیوار عمودی تقریب بزینیم بدین ترتیب عمق آب در ساحل برابر H_0 خواهد بود و با دور شدن از ساحل تغییرات عمق با فاصله از ساحل خطی می شود. در اینجا $H_0 = 3m$ این تقریب خوبی است و در عین حال می تواند معادلات را ساده تر کند. شیب کف در این حالت $s = 1.98 \times 10^{-3}$ می باشد. این مدل با مدل آقای Csanady در جزیره لانگ قابل مقایسه می باشد [1] (در آنجا $H_0 = 1m$ و $s = 10^{-3}$ می باشد).

$$s = 1.98 \times 10^{-3} \quad (۳-۵)$$



شکل (۵) نقشه هیدروگرافی ساحل بوشهر

آورد ولی در کل چنین گرادیانی بی تاثیر نیست (اثر آن قابل توجه نبوده)

برای رسم برآمدگی ها در هر نقطه (X,Y) از معادله (۳-۲) استفاده می کنیم ابعاد منطقه مورد بررسی عبارتند از: $0 < x < 10 \text{ Km}$ و $-5 \text{ Km} < y < 5 \text{ Km}$

این ابعاد را از این جهت انتخاب کردیم که به آبهای کم عمق ارتباط پیدا کند.

$$0 < \frac{x}{L} < \frac{10}{L} \rightarrow 0 < \frac{x}{L} < \frac{10}{26.8} \rightarrow 0 < \frac{x}{L} < 0.373$$

$$-5k < ky < 5k \rightarrow -0.105 < ky < 0.105$$

شکل (۷) توزیع برآمدگی $\zeta = \zeta(x,y)$ را در ناحیه ذکر شده نشان می دهد. توجه شود که X,Y بر حسب کیلومتر بوده و ζ بر حسب سانتی متر می باشد. همانطوری که مشخص می باشد تغییر تراز در نزدیکی ساحل بیشترین بوده و در فاصله دورتر کمتر شده. همچنین تغییر تراز در راستای محور Y بصورت سینوسی تغییر می کند در اینجا تغییر سینوسی مشخص نیست زیرا ابعاد ناحیه مورد نظر ما کوچک بوده (مقیاس محلی) ولی در ابعاد بزرگتر این تغییر مشاهده می شود.

نکته دیگر اینکه چون تغییرات تراز بر حسب سانتی متر بوده (حتی کمتر از یک سانتی متر) بنابراین مشاهده چنین تغییر تراز بصورت عملی مشکل بوده در نتیجه چنین تغییر تراز تنها از نظر تئوری اهمیت دارد.

در یک سیستم آب و هوایی قوی که سرعت باد زیاد باشد، تغییر تراز ناشی از باد دور از ساحل قابل توجه بوده شکل (۷) تغییر تراز ناشی از یک باد قوی دور از

$$\text{ساحل با سرعت } 16 \frac{m}{s}$$

را در آبهای ساحلی بندر بوشهر به صورت منحنی سه بعدی که با استفاده از معادلات ذکر شده و نرم افزار Mathematica نشان می دهد.

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_a = 1.3 \frac{kg}{m^3} \\ C_D = 1.3 \times 10^{-3} \\ W = 4 \frac{m}{s} \\ \rho = 1028 \frac{Kg}{m^3} \end{array} \right. \rightarrow F = \frac{1.3 \times 1.3 \times 10^{-3} \times 4^2}{1028} = 2.63 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f = 2\Omega \sin \phi = 2(7.27 \times 10^{-5}) \sin(27.5) = 6.71 \times 10^{-5} s^{-1} \\ r = 0.1 \text{ cm} \cdot s^{-1} = 10^{-3} m \cdot s^{-1} \\ H_* = 3m \\ \lambda = 300 \text{ km} = 3 \times 10^5 m \rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{3 \times 10^5} = 2.1 \times 10^{-5} m^{-1} \\ (3.5) \rightarrow s = 1.98 \times 10^{-3} \end{array} \right.$$

مسافت بی بعد عبارتند از:

$$L = \left(\frac{2r}{fk s} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \times 10^{-3}}{6.71 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^{-5} \times 1.98 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{2}} = 26.8 \text{ Km}$$

$$\zeta_a = \frac{F_1}{g s} = \frac{2.63 \times 10^{-5}}{9.8 \times 1.98 \times 10^{-3}} = 1.35 \times 10^{-3}$$

در مدل Csanady $L=40 \text{ km}$ بر آورد شده است که قابل مقایسه با L در اینجا می باشد. در اینجا مبدا مختصات را طوری انتخاب می کنیم که $x_* = 0.1$ باشد. (یعنی این که مؤلفه X در خط ساحلی ۰،۱ باشد).

علت اینکه $x_* = 0$ انتخاب نشده این است که صفر شدن x_* باعث تکنیگی (صفر شدن در مخرج) در معادلات می شود. ابتدا گرادیان تغییر تراز را در امتداد ساحل (موازی ساحل) محاسبه می کنیم طبق معادله (۸-۲) داریم:

$$(۳-۶)$$

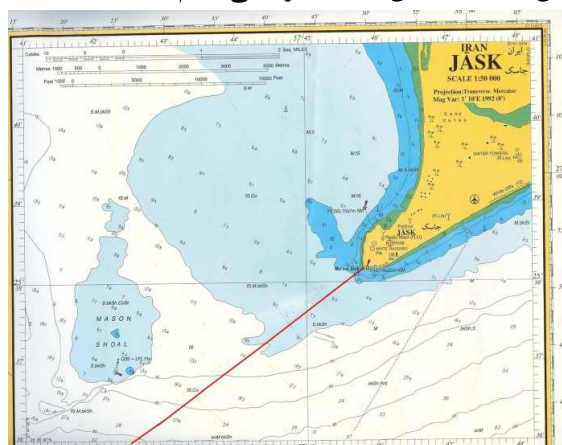
$$\frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{r}{fH} \frac{F}{gH} = -\frac{10^{-3}}{6.71 \times 10^{-5} \times 20} \frac{2.65 \times 10^{-5}}{9.8 \times 20} \cong 10^{-7}$$

این گرادیان تغییر تراز در مقایسه با گرادیان تغییر تراز در آبهای ساحلی جزیره لانگ حدود ۱۰ برابر کمتر بوده و به طور کلی گرادیان از این مرتبه نمی تواند جریان امتداد ساحلی قابل توجهی را بوجود

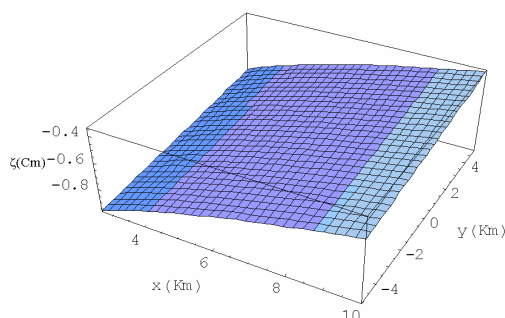
جدول (۲) عمق بر حسب فاصله

فاصله (Km)	۰.۲	۰.۲۵	۲.۱۵	۲.۹۵	۳.۱۸	۳.۵	۴.۱
عمق (m)	۱.۵	۴.۳	۸.۸	۱۰	۱۱.۲	۱۱.۵	۱۵
فاصله (Km)	۴.۳	۵	۵.۳	۵.۷	۶.۶۵		
عمق (m)	۱۵.۸	۱۸.۸	۲۰	۲۳.۵	۳۰		

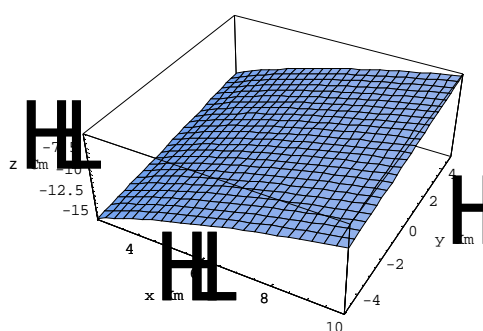
تقریباً در ۰.۵ کیلومتری اول تغییرات عمق با فاصله شدید بوده ولی سپس این تغییرات یکنواخت می شود. مدل ایده ال شده ما به این صورت است که ناحیه تغییرات شدید عمق بر حسب فاصله را با یک دیوار عمودی جایگزین کنیم و بعد از آن تغییرات را خطی در نظر بگیریم. شیب تغییرات عمق بر حسب فاصله حدود 3.86×10^{-3} می باشد در نتیجه $H_s = 2m$ با توجه به مدل ما در اینجا $s = 3.86 \times 10^{-3}$ خواهد بود در مقایسه با ساحل بوشهر $s = 1.98 \times 10^{-3}$, $H_s = 3m$ و جزیره لانگ $s = 10^{-3}$, $H_s = 1m$ می باشد. در ماه July نسبت به ماههای دیگر سال سرعت باد شمال شرقی بیشترین بوده که برابر $6 \frac{m}{s}$ می باشد. بنابراین بررسی خود را در این منطقه به این ماه محدود می کنیم.



شکل (۸) نقشه هیدروگرافی بندر جاسک



شکل (۷) تغییر تراز آبهای ساحلی در بندر بوشهر بر اثر باد دور از ساحل و با تنش متغیر در راستای محور y (موازی ساحل)

شکل (۸) تغییر تراز آب در اثر باد دور از ساحل در یک باد شمال شرقی با سرعت $16 \frac{m}{s}$ در بندر بوشهر

۳-۳- بررسی اثر بادهای دور از ساحل بر آبهای سواحل بندر جاسک:

بندر جاسک در دریای عمان بین عرضهای شمالی $25^{\circ} 38'$ و $25^{\circ} 41'$ و طولهای شرقی $57^{\circ} 45'$ و $57^{\circ} 48'$ واقع می باشد. نقشه هیدروگرافی (آبنگاری) بندر جاسک در شکل (۸) آورده شده است. در این شکل محل برش عرضی با خط قرمز مشخص شده است. مطابق این برش جهت محور x (که همان امتداد برش عرضی است) در امتداد شمال شرقی-جنوب غربی و جهت محور y ها در امتداد محور شمال شرقی-جنوب غربی می باشد. پروفیل عمق بر حسب فاصله در شکل (۹) مشخص شده است. مقدار عددی عمق بر حسب فاصله که از نقشه هیدروگرافی بندر جاسک با مقیاس $\frac{1}{50,000}$ بدست آمده که در جدول (۲) آورده شده است.

در مقایسه با بندر بوشهر $L=26.8\text{Km}$ و جزیره لانگ $L=40\text{ Km}$ بدست آمده است.

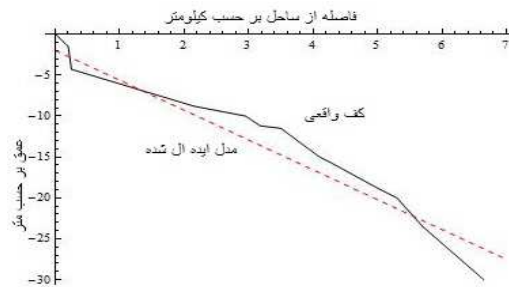
مسئله دیگر برای حل مسئله در این ناحیه انتخاب مبدا مختصات می باشد در صورتی که مبدا مختصات در نقطه ای از خط ساحلی باشد ($x_0=0$ یا $x_0^*=0$) در آن صورت باعث تکنیکی یعنی صفر شدن در مخرج کسر می شود برای این منظور مبدا مختصات را طوری انتخاب می کنیم که $x_0 \neq 0$ باشد. در اینجا $x_0^*=0.1$ انتخاب می کنیم که با توجه به معادله (۲،۱۲) خواهیم داشت:

$$x_0 = x_0^* L = 0.1 \times 19.79 = 1.979 \text{ Km} = 1979 \text{ m}$$

همانند ساحل بوشهر ابتدا گرادیان تغییر تراز را در امتداد ساحل (موازی ساحل) بدست می آوریم زیرا همانطور که گفته شد گرادیان تغییر تراز امتداد ساحلی در ایجاد جریانهای امتداد ساحلی نقش مهمی را دارد گرادیان تغییر تراز امتداد ساحلی در اینجا عبارتند از (با استفاده از معادله ۲،۸):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{r}{fH} \frac{F}{gH} = -\frac{10^{-3}}{6.30 \times 10^{-5} \times 30} \times \frac{5.92 \times 10^{-5}}{9.8 \times 30} = 1.1 \times 10^{-7}$$

این گرادیان در مقایسه با آبهای ساحلی بوشهر اندکی بیشتر بوده ولی در مقایسه با جزیره لانگ حدود یک مرتبه (یعنی حدود دو برابر) کمتر بوده حال تغییر تراز (elevation) را در هر نقطه (X, Y) رسم می کنیم. برای رسم این نمودار از معادله (۳-۲) استفاده می کنیم که $\zeta^*(x^*, y^*)$ از معادله (۲-۲۴) بدست می آید. این نمودار را در محدوده $x_0 \leq x \leq 10$ و $-5 \leq y \leq +5$ که این اعداد بر حسب کیلومتر می باشند. رسم می کنیم این محدوده به آبهای کم عمق مربوط می شود. شکل (۱۰) توزیع برآمدگی را در ناحیه مذکور نشان می دهد. این شکل از اطلاعات ۹۰۰ نقطه محاسبه شده رسم شده است. همچنین در این شکلها X, Y بر حسب کیلومتر بوده و ζ بر حسب سانتی متر می باشد.



شکل (۹) پروفیل عمق بر حسب فاصله در ساحل جاسک

تنش ناشی از این باد از قانون ضریب دراگ مربعی بدست می آید که عبارتند از: $\tau_x = \rho_a C_D W^2$: W, C_D, ρ_a بترتیب چگالی هوا، ضریب دراگ استاندارد و بزرگی سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا می باشد. معادلات (۳-۳) معادلات انتگرال گیری شده در عمق می باشند یعنی:

$$F = \int_{-H}^0 \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_x}{\partial z} dz \rightarrow F = \frac{\tau_0 - \tau_H}{\rho} = \frac{\tau_0}{\rho} = \frac{\rho_a C_D W^2}{\rho}$$

در اینجا داریم:

$$\rho = 1028 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ و } W = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ و } C_D = 1.3 \times 10^{-3} \text{ و } \rho_a = 1.3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

می باشد در نتیجه F بصورت زیر خواهد شد:

$$F = \frac{1.3 \times 1.3 \times 10^{-3} \times 6^2}{1028} = 5.92 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

در مقایسه با ساحل بوشهر که $F = 2.65 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

بدست آمد. پارامترهای دیگر به صورت زیر می باشند:

$$\left\{ \begin{array}{l} f = 2\Omega \sin \phi = 2(7.27 \times 10^{-5}) \sin(25.66) = 6.30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \\ r = 0.1 \text{ cm.s}^{-1} = 10^{-3} \text{ m.s}^{-1} \\ H_0 = 2 \text{ m} \\ \lambda = 300 \text{ km} = 3 \times 10^5 \text{ m} \rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{3 \times 10^5} = 2.1 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1} \\ s = 3.86 \times 10^{-3} \end{array} \right.$$

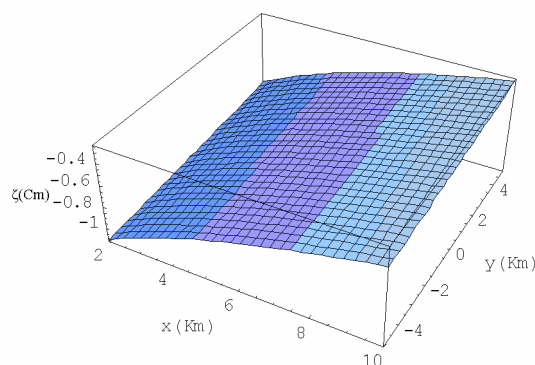
مسافت بی بعد عبارتند از:

$$L = \sqrt{\frac{2r}{fks}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3}}{6.30 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^{-5} \times 3.86 \times 10^{-3}}} = 19.79 \text{ Km}$$

$$\zeta_a = \frac{F}{gs} = \frac{5.92 \times 10^{-5}}{9.8 \times 3.86 \times 10^{-3}} = 1.56 \times 10^{-3}$$

عمق ۳۰ متر از اثرات مستقیم تنش باد ایزوله می‌باشد. تئوری فوق چگونگی پاسخ ستون آب به کرل تنش باد را پیش بینی نمی‌کند. در هر حالت پاسخ تعادلی حالت پایا به یک اغتشاش متحرک، تنها قسمتی از قضیه می‌باشد. بر روی فلات قاره مسطح در شرق ساحل، امواج توپوگرافیکی به طور برجسته پدیدار نمی‌شوند. بنابراین حداقل در مناطق نزدیک ساحل جایی که حل‌های فوق یک میدان فشار بدام افتاده را نشان می‌دهند، الگوی جریان محاسبه شده باید قسمت غالب پاسخ را به طور کیفی توضیح دهد. بدین ترتیب یک توافق مختصر بین تئوری و مشاهده ایجاد می‌شود. مدل تنش باد عمود بر ساحل سینوسی با آنچه که در مشاهده آزمایش برش عرضی لایه مرزی سطحی انجام شد کاملاً یکسان نبودند (مدل ما یک مدل تقریبی بود). اما نشان داد که گرادیان امتداد ساحلی قابل ملاحظه‌ای را در ارتباط با ایمپالس تنش باد دور از ساحل می‌باشد، باید انتظار داشت. مرتبه بزرگی گرادیان بر آمدگی امتداد ساحلی بدست آمده از مشاهدات در حدود آن چیزی است که از تئوری (با استفاده از مقادیر قابل قبول پارامتر اصطکاکی و غیره) محاسبه شده، می‌باشد. وابستگی فازی نیز به طور تقریبی در توافق اند، با توجه به اینکه گرادیان فشار غیر جزرومدی ورودی ساعتها قبل از اینکه تنش باد دور از ساحل و ناپدید شدن قبل از اتمام ایمپالس تنش باد، قابل توجه می‌باشد.

سؤالی که پیش می‌آید این است که کدام باد در فرایند بالا آمدگی‌ها یا گرادیان‌های بالا آمدگی در ساحل، مؤثر تر می‌باشد؟ جواب به مقدار پارامتر بدون بعد $\frac{H \cdot \rho}{sL}$ به نحو پیچیده‌ای بستگی دارد. اما بستگی به پارامتر kL نیز خیلی مشخص می‌باشد: برآمدگی‌های ساحلی ناشی از باد عمود بر ساحل متناسب با $\frac{F}{g_s}$ می‌باشند. عموماً kL از واحد کمتر می‌باشد. با استفاده از داده‌های نوعی موجود $kL=0.5$ اما برای سیستم آب و هوایی با اندازه خیلی



شکل (۱۰) تغییر تراز آب ساحلی در بندر جاسک. برش عرضی مورد نظر با خط قرمز شکل ۳،۵ مشخص شده است

توجه شود که خط ساحلی در $x = x_0 = 1.979 \text{ Km}$ واقع می‌باشد.

همانطوری که از شکل مشخص می‌باشد. بیشترین تغییر تراز را در نزدیک ساحل داریم و هر چه از ساحل دور می‌شویم این تغییر تراز کمتر می‌شود. نکته دیگر اینکه تغییر تراز در امتداد محور y (موازی ساحل) نیز تغییر می‌کند یا به عبارتی به y بستگی دارد. دلیل این را می‌توان به متغیر بودن تنش باد در امتداد محور y نسبت داد یا به عبارتی دیگر به معادله (۲،۹) بر می‌گردد.

۴-۳- ملاحظات پایانی

الگوی جریان دور از ساحل محاسبه شده بوسیله موازنه تمایل ورتی سیتی ناشی از کرل تنش باد و جریان قطع‌کننده هم عمقها می‌باشد که اساساً رفتاری بدون اصطکاک را نشان می‌دهد. که قابل مقایسه با مدل گردش بزرگ مقیاس اقیانوسی دور از مرز سوردراپ می‌باشد. با این تفاوت که تمایل ورتی سیتی سیاره ای به جای کشش ورتکس میان جریان‌های قطع‌کننده هم عمقها جایگزین شده است. یکی از تئوری‌ها این الگوی جریان را برای عمق ۵۰ متری یا بیشتر پیش‌بینی می‌کند. اگر جریان تا کف گسترش یابد (یعنی یک حالت آمیخته خوب)، در آن صورت اثر کشش ورتکس می‌تواند به تنهایی اعمال شود. در اکثر طول سال، لایه‌بندی لایه‌ها زیر

- ۵- مراجع
- [1] csanady, G.T., longshore pressure gradients caused by offshore wind, J. Geophys. Res., 85, 1076-1084, 1980
abromowitz, M., And
- [2] I.A. Stegum, Handbook of Mathematical Functions, 1046 pp., National of standfords, U.S. Government printing office, Washington, D.C, 1964
- [3] Pedlosky, J., 1987, Geophysical Fluid Dynamics, Springer Verlag
- [4] Pond S. And Pickard. G.L., Introductory Dynamical Oceanography
- [5] Knauss, J.A., 1997, Introduction to Physical Oceanography
- [6] Stewart, R.H., 2008, Introduction to Physical Oceanography
- [7] www.weather.ir
- [8] Apel J.R. 1987. Principles of Ocean Physics. New York: Academic Press.
- [9] Dijkstra, H.A. 2010 Dynamical Oceanography
- [10] Pickard G.L., and W.J. Emery. 1990. Descriptive Physical Oceanography: An Introduction.

- [۱۱] محمودرضایی، بررسی نوسانات سطح آب سواحل جنوب غربی دریای خزر و رابطه آن با باد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دریایی آزاد تهران شمال
- [۱۲] جعفر بابائی، بررسی نوسانات آبهای ساحلی دریای خزر در اثر تغییرات جوی (باد)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس
- [۱۳] عبدالنبی غلامیان نژاد، بررسی بالا آمدن آب و جریانهای ناشی از بادهای ساحلی در سواحل جنوب دریای خزر، دانشگاه تربیت مدرس
- [۱۴] مسعود ترابی آزاد، امواج و گردش ناشی از اصطکاک کف و باد در خلیج فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی
- [۱۵] نقشه هیدروگرافی بوشهر با مقیاس 1/25000، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
- [۱۶] نقشه هیدروگرافی جاسک با مقیاس 1/50000، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

معمول تر، به احتمال زیاد ۰٫۲ خواهد بود. بدین ترتیب بادهای امتداد ساحلی (در $\frac{H_0}{sL} = 0.25$) در بالا آوردن ترازهای ساحلی دریا از بادهای عمود بر ساحل مؤثرترند. ولی در یک سیستم هوایی قوی مانند هاریکن، اثر هر دو به یک اندازه مهم می‌شود.

۴- نتایج

۱. هنگامی که باد رو به زوال پیش می‌رود، ماکزیمم برآمدگی (Elevation) را داریم و هنگامی که ماکزیمم تنش باد را داریم برآمدگی صفر است.
۲. بررسی‌ها هم بصورت عملی (بررسی مشاهده گرادیان فشار و جریانها از جزرومد سنج و جریان سنج در ۱۲ کیلومتری ساحل جزیره لانگ) وهم نظری نشان می‌دهد که بادهای دور از ساحل در صورتی که به اندازه کافی قوی باشند گرادیان فشار از مرتبه 10^{-6} را ایجاد می‌کند یعنی $\frac{\partial \zeta}{\partial y} = O(10^{-6})$ ، که این مقدار گرادیان فشار می‌تواند جریانهای امتداد ساحلی قابل ملاحظه ای را بوجود آورد.
۳. با رسم نمودارهای برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها نکته‌ای مشخص می‌شود که در ساحل یک تغییر فاز ناچیز بین ماکزیمم باد دور از ساحل و مینیمم برآمدگی وجود دارد.
۴. همچنین مشاهده می‌شود که حداکثر گرادیان‌های بالا آمدگی (elevation) چندین برابر 10^{-7} می‌باشد و نزدیک ساحل اتفاق می‌افتد.
۵. نتایج منحنی‌های سه بعدی در بندر بوشهر و بندر جاسک نشان می‌دهد که بیشترین تغییر تراز در نزدیک ساحل اتفاق می‌افتد و با دور شدن از ساحل این مقدار کاهش پیدا کرده و همچنین تغییر تراز در راستای محور y (موازی ساحل) نیز متغیر است که می‌توان آن را به فرض سینوسی بودن تغییرات تنش در راستای امتداد ساحلی نسبت داد.