

بررسی جریان گرانی خروجی از خلیج فارس

فاطمه جعفریان ابیانه

مرکز علوم جوی و اقیانوسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۲۳

چکیده

مقدمه: برهم کنش هوا و دریا سبب بروز بسیاری از پدیده های منحصر به فرد در جو و اقیانوس می شود که یکی از آنها جریان گرانی است که در محیط های دریایی نیمه بسته خاص ایجاد می شود. این جریان به عنوان مؤلفه ای از گردش آب های دریا نقش مؤثری بر روی برخی از فعالیت های دریایی از قبیل نظامی، مخابراتی، صیادی، تحقیقاتی و ... دارد.

هدف: هدف این مقاله بررسی حضور جریان گرانی خروجی خلیج فارس به عنوان مؤلفه ای از گردش آب دریاها و ویژگی های این جریان می باشد.

روش بررسی: بررسی حضور جریانات گرانی خروجی از خلیج فارس از طریق مقایسه نیمرخ چگالی و شوری آب خلیج فارس با نیمرخ چگالی و شوری آب دریاهایی مانند خلیج اسپنسر، که حضور این گونه جریانات از طریق اندازه گیری مورد تأیید قرار گرفته و برخی از ویژگی های جریان گرانی خلیج فارس از قبیل سرعت، مسیر و ... از طریق حل معادلات حرکت مانای غیرزمینگرد به روش دینامیکی تصویر هندسی نیروها و استفاده از داده های اندازه گیری شده در فوریه- ژوئن ۱۹۹۲ توسط گشت تحقیقاتی کشتی Mount Mitchell در پروژه ROPME، صورت می گیرند.

نتایج: نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از حضور مداوم جریان گرانی خروجی از خلیج فارس می باشد که در طی ماه فوریه و ژوئن شدت یافته و به بیشینه مقداری در ماه مارس می رسد.

نتیجه گیری: جریان گرانی خروجی خلیج فارس با ضخامتی حدود ۳۵ متر، سرعت متوسطی حدود 0.4 m/sec و ضریب اصطکاکی حدود $10^{-3} \times 0.783$ تحت زاویه حدود $7/84^\circ$ نسبت به عمق ها به سمت پایین شیب حرکت می کند.

واژه های کلیدی: جریان گرانی، دریا های نیمه بسته و شرایط مانای غیرزمینگرد

مقدمه

جریان های گرانی^۱ که به جریان های چگال یا شناوری موسوم می باشند در اثر گرادیان های افقی چگالی حتی با درصد کم در محیط های طبیعی و مصنوعی ناهمگن^۲ بوجود می آیند. گرادیان های افقی چگالی معمولاً توسط اثرات گرمایی، افزایش مواد محلول مانند شوری و یا مواد تعلیقی در سیال ایجاد می شوند. از جریان های گرانی حاصل از مواد تعلیقی در جو می توان به ابر خاکی و بهمن برف و ناشی از اثرات گرمایی به نسیم کوهستان و باد دره ای اشاره نمود. مکان ظهور جریان های گرانی تعلیقی در اقیانوس ها بر روی نواحی شیب دار می باشد که زمان شروع آن ها همزمان با سرخوردن لجن روی شیب است. این جریان های کدر گاهی با حرکت تحت سرعت هایی تا حدود 30 m/sec قادر به طی مسافتی حدود هزاران کیلومتر و حفر کانال در بستر می باشند. این جریان ها در دریاها کاملاً قابل رؤیت نبوده اما از طریق خطوط کف جوش واقع در سطح، ناشی از همگرایی آن ها در کف، می توان به وجود آن ها پی برد.^(۱)

اینک به چند مورد از تحقیقاتی که تا کنون بر روی جریان گرانی صورت گرفته در زیر اشاره می شود:

۱- بررسی داده های اقیانوس شناسی اندازه گیری شده (طی ۳۰ ماه ۸۵-۱۹۸۲)) در خلیج اسپنسر واقع در جنوب استرالیا حاکی از حضور جریان گرانی در فصل زمستان با سرعتی حدود 0.1 m/sec و خروج از انتهای غربی تنگه کانگورو می باشد.^(۲) اقیانوس شناسان محلی به علت خروج این جریان از دهانه خلیج به شکل زبان، به آن زبان بناپارت می گویند.^(۳)

۲- نتایج بررسی گردش آب های خلیج فارس توسط مدل عددی حاکی از حضور گردش سیکلونیک در بخش جنوبی و گوشه شمال غربی خلیج بترتیب ناشی از تبخیر و رواناب اروندرود، حاکمیت جریان ساحلی جنوب سو در امتداد سواحل عربی بین رأس خلیج فارس و قطر و همچنین حضور یک جت ساحلی ناشی از باد در شرق قطر و عدم حضور آن در غرب قطر می باشد.^(۴)

۳- گردش در خلیج فارس مستقل از فصل و شدیداً وابسته به بادهای می باشد. گردش در بخش جنوبی مرکز خلیج فارس غالباً ناشی از رانش چگالی همراه با ورود جریان سطحی از تنگه هرمز و مجاور ساحل ایرانی می باشد. جریان ساحلی جنوب سو در امتداد کل ساحل جنوبی مرکز خلیج فارس برقرار است. جریان در شرق قطر راکد

¹- Gravity Current

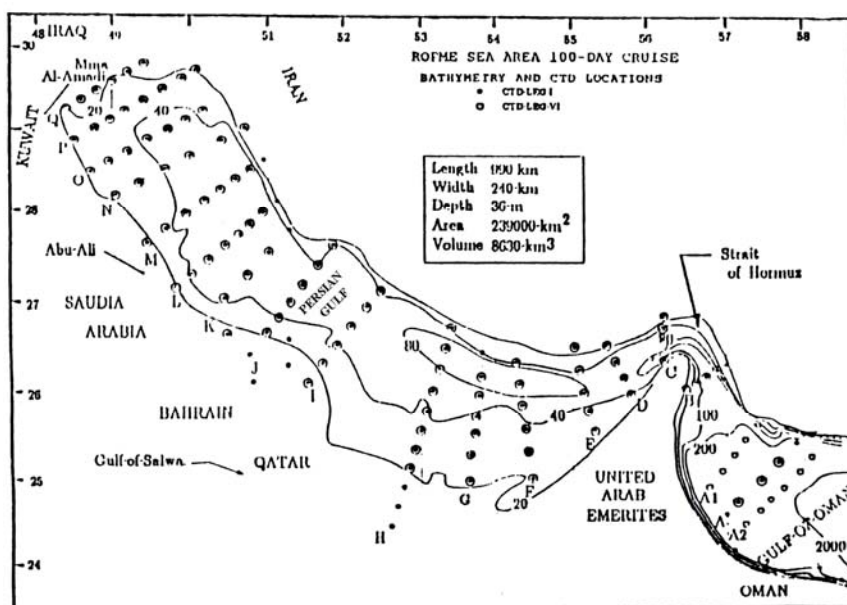
²- Non-hemogen

می شود جایی که تبخیر و ریزش زیاد آب وجود دارد و جریان کف و چگال بسمت شمال غربی و خارج از تنگه هرمز تشکیل می شود.^(۵)

انجام این تحقیق به دلیل عدم وجود تحقیق بر روی سرعت جریان گرانی خروجی خلیج فارس و همچنین نقش مؤثر آن در انتقال آلودگی‌ها، تبادل آب دریاها و در برخی از فعالیت‌های دریایی از قبیل نظامی، مخابراتی، صیادی و ... ضروری می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس به عنوان بازویی از اقیانوس هند، به صورت دریای نیمه بسته واقع بین ۲۴ تا ۳۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۷ تا ۵۷ درجه طول جغرافیایی شرقی، از طریق تنگه هرمز با عرضی در حدود ۶۰ کیلومتر به دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند متصل می‌گردد، (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه جغرافیایی خلیج فارس همراه با کتورهای عمق و مقاطع اندازه‌گیری گشت تحقیقاتی اقیانوس شناسی فیزیکی کشتی مونت میشل در طی فوریه - ژوئن ۱۹۹۲^(۵)

خلیج فارس دارای طولی حدود ۹۹۰ کیلومتر، مساحتی حدود ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع، عرض حداکثری حدود ۳۳۰ کیلومتر، عمق حداکثری حدود ۱۰۰ متر و حجمی حدود ۸۶۳۰ کیلومتر مکعب مربوط به عمق متوسط ۳۶ متر می‌باشد. کویرهای بزرگی به طول صدها کیلومتر به جنوب خلیج فارس و کوه‌های زاگرس با ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ متر به شمال خلیج فارس مشرف می‌باشند. رودهای متعددی از قبیل رودهای مند، هیله رود، هنديجان، کارون، دجله و فرات به خلیج فارس می‌ریزند که میزان سالانه رواناب رودها به خلیج فارس حدود ۴۶ cm می‌باشد.^(۵) اینک به بررسی خلیج فارس از دیدگاه هواشناسی و اقیانوس‌شناسی می‌پردازیم.

ویژگی بارز آب و هوا در خلیج فارس، زمستان‌های سرد و کوتاه و تابستان‌های گرم و طولانی با بارش کم می‌باشد. شرایط زمستانی در خلیج فارس از اواسط ماه دسامبر شروع و در اواسط ماه فوریه ناپدید می‌شود. بیشینه میانگین دمای هوا در ماه ژانویه حدود ۱۸ °C و کمینه آن حدود ۸ °C می‌باشد و شرایط تابستانی در خلیج فارس از

اواخر ماه مارس شروع و تا اواخر ماه اکتبر ادامه دارد. بیشینه میانگین روزانه ی دمای هوا در حدود 29°C و میانگین دمای هوا در بعد از ظهر حدود 43°C می باشد^(۴). میزان سالانه بارش خلیج فارس حدود 7 cm می باشد.^(۵)

گردش مونسون زمستانی، بادهای شدید شمالی و مونسون تابستانی، بادهای جنوبی را بوجود می آورد. معروفترین پدیده آب و هوای در خلیج فارس یک باد شمال غربی موسوم به شمال^{۱۶} می باشد که در طی سال اتفاق می افتد. معمولاً ابتدا شمال از سمت شمال غربی می وزد و سپس به سمت جنوب گسترش می یابد. شمال تابستانی از اوایل ژوئن تا ژولای می وزد و با شدت نسبی کم فشارهای گرمایی عربی و هندی همراه است. شمال زمستانی با نیرو و شدت زیاد ناشی از سیستم سینوپتیکی شمال غربی برقرار می شود. سرعت شمال بندرت از 10 m/sec تجاوز می کند و روزهای متعددی دوام دارد. در جلو جبهه سرد بادهایی از جنوب غربی موسوم به شاکی^(۱۷) می وزند که شدت آنها بکنندی ضمن رسیدن به جبهه سرد افزایش می یابند.^(۵) طوفانهای همراه با رعد و برق و مه بسیار نادر می باشند. نسیمهای دریایی قوی ناشی از اختلاف شدید دمای سطح آب و خشکی عمدتاً در امتداد خطوط ساحلی تشکیل می شوند.^(۵)

ناوه^{۱۹} فشاری خلیج فارس یک زبانه کم فشار حرارتی و شاخه ای از مانسون^{۲۰} کم فشار غالب است که به علت گرمایش قاره ها در آسیای جنوب غربی گسترش می یابد. این ناهه از اواسط ماه ژوئن شروع و در اواخر ماه ژوئن به حالت پایدار رسیده که ضمن غالب شدن در طی ماه ژولای و اوت بطور بسیار سریعی در اواسط ماه سپتامبر ناپدید شده و به علت منشأ گرمایی به ارتفاع 1500 متری محدود می شود.^(۶)

تغییرات فصلی دمای آب سطح خلیج فارس بسیار زیاد می باشد. گرادیان افقی دمای آب سطح خلیج فارس در فصل زمستان زیاد است. دمای آب سطح خلیج فارس در فصل زمستان با گرادیان افقی زیاد از 15°C در رأس به 21°C در دهانه خلیج می رسد و دمای آب سطح در فصل تابستان با گرادیان افقی تقریبی $1/2^{\circ}\text{C}$ ، حدود 33°C می باشد.^(۵،۴)

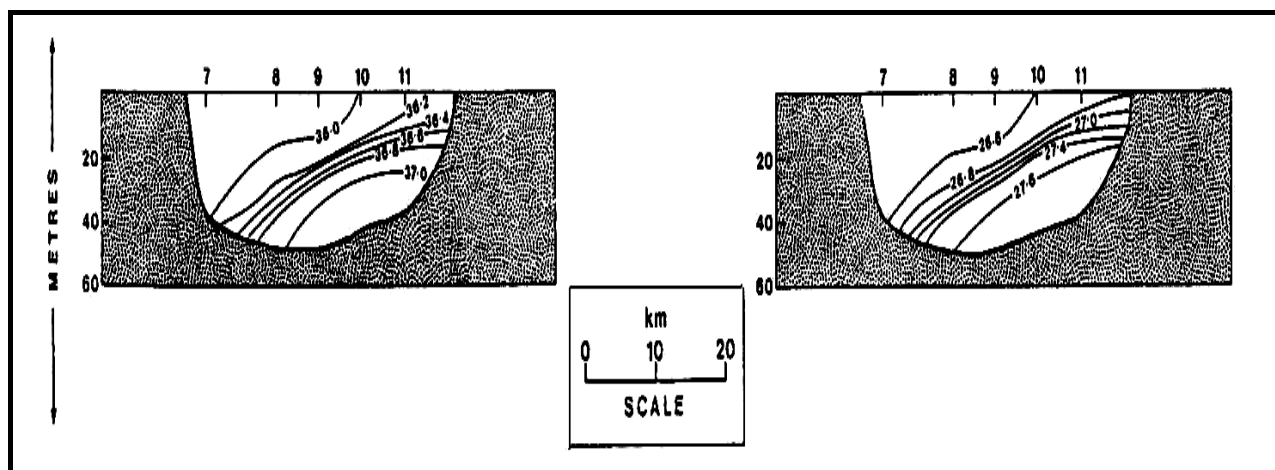
میزان سالانه تبخیر از خلیج فارس حدود 200 cm برآورد گردیده است.^(۴) شوری آب سطح خلیج فارس در فصل زمستان زیادتر از تابستان می باشد بطوری که در فصل زمستان از $37(\text{psu})$ در نزدیکی تنگه هرمز تا $42-43(\text{psu})$ در آب های ساحلی عربستان سعودی تغییر می کند.^(۵،۴)

شوری بالای در آب های سطحی مناطق کم عمق خلیج فارس مشهود است. بنابراین چگالی آب در مناطق کم عمق خلیج، سمت جنوب و جنوب غربی خلیج فارس، بیشتر می باشد. در واقع کم عمقی خلیج فارس موجب افزایش شوری آبها در اثر تبخیر می شود زیرا تبخیر به تنهایی قادر به تولید آبهایی تا این حد شور نمی باشد. ضمن دور شدن از تنگه هرمز، اختلاف چگالی بین آب شیرین در سمت ایران و آب شور در سمت عربی به علت ورود رواناب رودها با دما و شوری کم از طریق دلتای اروند رود کاهش می یابد.

سرعت جریان های سطحی خلیج فارس در بهار و پاییز حدود $0/1\text{ m/sec}$ و در تابستان حدود $0/2\text{ m/sec}$ می باشد.^(۴) جریان های جزرومدی با قرار گرفتن به موازات محور خلیج فارس به سرعت هایی تا حدود $0/5\text{ m/sec}$ تا عمق 4 متری بالای کف می رسند. گاهی سرعت این جریان ها در کانال های ابوظبی (عربستان سعودی) $0/6\text{ m/sec}$ و حتی در تنگه هرمز تا 2 m/sec گزارش شده است.^(۷)

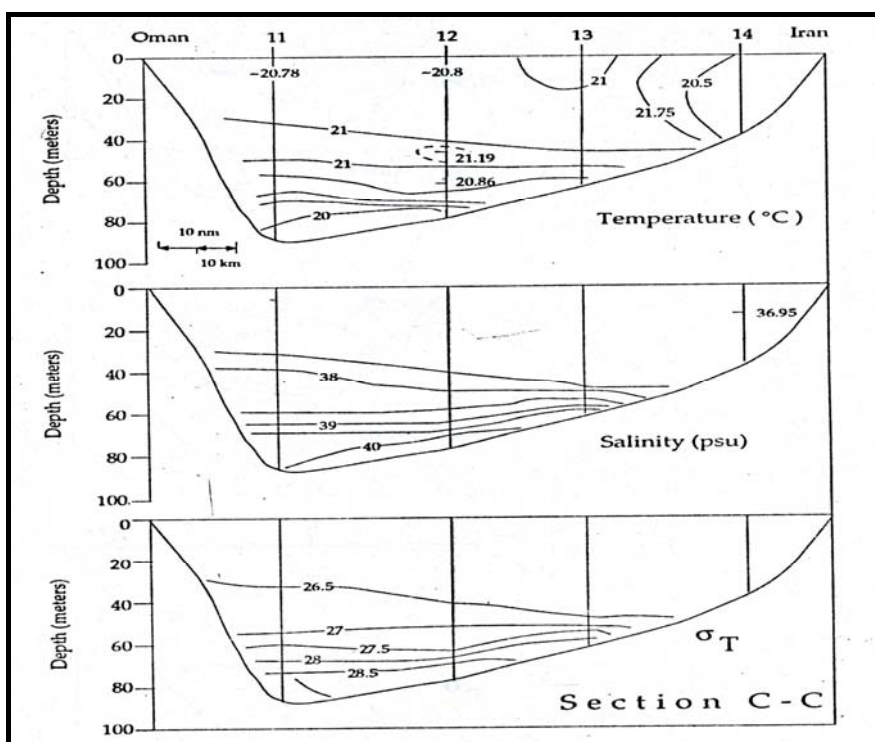
تحلیل دیده بان‌های میدانی

جهت تأیید حضور جریان گرانی در خلیج فارس از روش مقایسه با ویژگی‌های فیزیکی جریان گرانی در مکانی از جمله خلیج اسپنسر که حضور جریان گرانی با اندازه گیری‌های مستقیم مورد تأیید قرار گرفته و مطالعات حاکی از وجود این جریان استفاده شده است. بدین جهت ضمن مقایسه نیمرخ‌های دما، شوری و چگالی خلیج فارس، حاصل از پردازش داده‌های گشت کشتی مونت میشل مربوط به پروژه^۱ ROPME با نیمرخ‌های خلیج اسپنسر مشخص شد که جریان گرانی قوی‌تری در خلیج فارس نسبت به خلیج اسپنسر وجود دارد زیرا طبق شکل ۲ گرادیان قائم شوری و چگالی در مدخل خلیج اسپنسر به ترتیب حدود $(1 \text{ psu} \cdot \text{m}^{-1})$ و $(1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-4})$ می‌باشد^(۲) و طبق شکل ۳ گرادیان قائم شوری و چگالی در مدخل خلیج فارس به ترتیب حدود $(2/5 \text{ psu} \cdot \text{m}^{-1})$ و $(2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-4})$ می‌باشد.



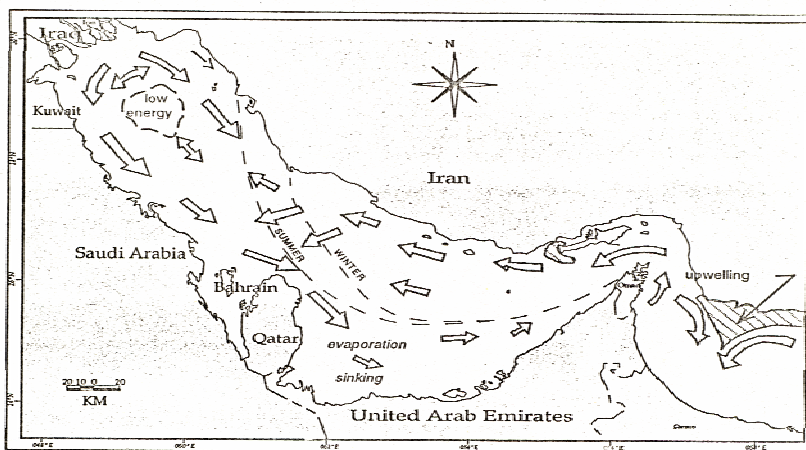
شکل ۲- نیمرخ قائم شوری (سمت چپ) و چگالی (سمت راست) در مدخل خلیج اسپنسر طی ۴-۶ ژوئیه ۱۹۸۵^(۲)

1- ROPME= Regional Organization for the Protection of the Marine Environment



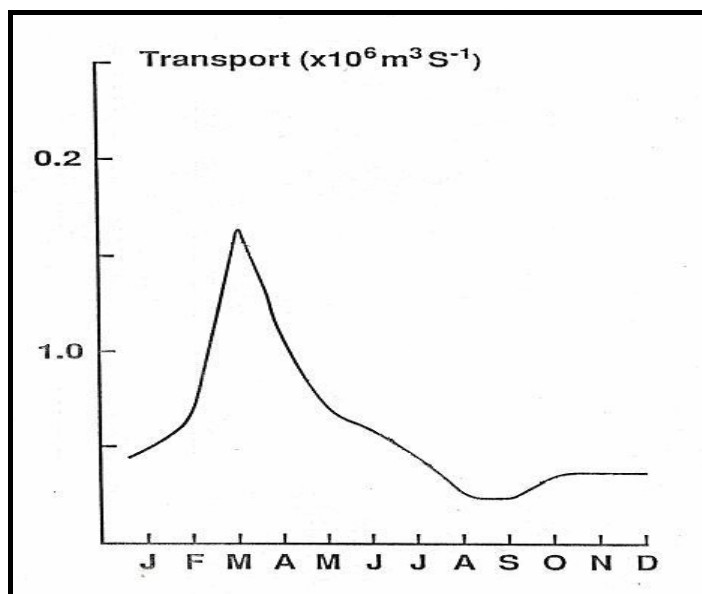
شکل ۳- نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در مدخل خلیج فارس (مقطع C شکل (۱)) (۵)

از شکل ۴ دیده می شود خروج جریان گرانی از خلیج فارس با ورود جریان سطحی به آن (طبق اصل پیوستگی جرم) همراه می باشد. (۵)



شکل ۴- نمایی از جریانات سطحی و فرایند گردش آبهای خلیج فارس (۵)

از شکل ۵ مشاهده می شود با تشدید میزان انتقال جرم ورودی سطحی به خلیج فارس در طی ماه فوریه- ژوئن، میزان انتقال جرم خروجی از خلیج فارس نیز در طی ماه فوریه - ژوئن شدت یافته و به حداکثری در ماه مارس می رسد. (۴)



شکل ۵- میزان ماهیانه انتقال آب خلیج فارس (حروف روی محور افقی نمایانگر حرف اول ماههای میلادی و اعداد روی محور قائم نمایانگر میزان انتقال می باشد) ^(۴)

مروری بر جریان‌های گرانی دریایی

از دیدگاه فیزیکی

در طی فصل تابستان، کاهش حجم قابل توجهی از آب دریا در اثر فرآیند تبخیر ناشی از گرمایش سطح آب سبب افزایش چگالی آب دریا شده که با انبساط حجمی آب ناشی از گرمایش خنثی می‌شود. با شروع فصل سرما، افزایش چگالی آب شور سطحی در اثر انقباض حجمی آب ناشی از سرمایش سبب سنگینی نسبی لایه فوقانی آب و ناپایداری گرانشی می‌شود. اعمال نیروی جاذبه بر روی توده سیال شناور چگال‌تر از محیط اطراف سبب ریزش آن به سمت کف شده که در اقیانوس‌شناسی به آن گردش ترموهالاین^۱ گویند. توده آب ریزشی با تبدیل انرژی پتانسیل به جنبشی در جهت کاهش گرادیان افقی چگالی و رسیدن به تراز چگالی مناسب به صورت جریان افقی موسوم به جریان گرانی حرکت می‌نماید. نیروی رانشی جریان گرانی فقط ناشی از اختلاف در وزن ویژه یا وزن واحد حجم می‌باشد که با افزایش اختلاف چگالی دو سیال افزایش می‌یابد.^(۸)

از دیدگاه دینامیکی

جهت دستیابی به معادلات حرکت جریان گرانی، معادلات هیدرودینامیکی حرکت را تحت شرایط مانای غیرزمینگرد در سیستم مختصات کروی زمین با محور X در راستای محور مداری، Y در راستای محور نصف‌النهاری کره زمین و Z در راستای قائم محلی بکار می‌بریم. بنابراین معادله حرکت را با در نظر گرفتن نیروهای مؤثر بر جریان گرانی و اعمال فرضیات زیر بدست می‌آوریم:

- ۱- حرکت افقی و مانا،
- ۲- تراکم ناپذیری سیال،
- ۳- سیال غیرویسکوز (ایده آل)،
- ۴- عدم وجود شیب در سطح دریا (گرادیان فشار در شرایط کژفشاری ناشی از گرادیان چگالی می باشد)،
- ۵- شیب کف دریای ثابت (مانع افزایش ارتفاع سطح مشترک می شود)،
- ۶- سطح مشترک نازک (بروز این فرض در سیر تدریجی جریان صورت می گیرد به علت عدم برقراری شرایط اختلاط در ابتدا و افزایش ضخامت سطح مشترک در اثر تلاطم ناشی از تنش اصطکاکی)،
- ۷- چگالی ثابت آب بالا و پایین سطح مشترک و کمتر بودن چگالی آب بالای سطح مشترک نسبت به چگالی آب پایین سطح مشترک (یعنی برقراری یک سیستم دو لایه ای که که توسط سطح مشترک از هم جدا می شوند)،
- ۸- برقراری شرایط هیدرواستاتیک و
- ۹- اعمال اصطکاک درجه دوم

$$\frac{-1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) + f \cdot v + R_x = 0 \quad (1-f)$$

$$\frac{-1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) - f \cdot u + R_y = 0 \quad (1-b)$$

$$\frac{-1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) - g = 0 \quad (1-c)$$

با انجام عملیات ریاضی بر روی معادلات فوق و جایگذاری g' ، گرانی کاهش یافته، بجای $\left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right)$ و i_x و i_y ،

شیب کف دریا در راستای X و Y ، بترتیب بجای $\frac{\partial z}{\partial x}$ و $\frac{\partial z}{\partial y}$ معادلات زیر بدست می آیند:

$$g' i_x + f \cdot v - \frac{k u^2}{h} = 0 \quad (2-f)$$

$$g' i_y - f \cdot u - \frac{k v^2}{h} = 0 \quad (2-b)$$

$$P = -\rho g z \quad (2-c)$$

k ضریب اصطکاکی بصورت زیر تعریف می شود:

$$k = k_b + k_s \quad (3)$$

(k_b)، ضریب کشش کف و (k_s)، ضریب سطح مشترک می باشد.

1-Thermohaline is a term for the global density- driven circulation of the oceans. Derivation is from *thermo* for heat and *haline* for salt, which together determine the density of sea water.

مواد و روشها

روش تحقیق

برای حل معادلات حرکت جریان گرانی از یک روش ساده دینامیکی موسوم به روش هندسی تصویر نیروها استفاده می‌نماییم.^(۳) ابتدا المانی از سیال را بر روی کانال عمیق حوضه مانند شکل ۶ در نظر گرفته که نیروهای مؤثر بر این المان عبارتند از:

۱- نیروی اصطکاک حاصل از حرکت نسبی آب روی کف و سطح مشترک، ناشی از کشش کف دریا و سطح مشترک بین جریان و آب واقع در بالا می‌باشد. این نیرو ضمن اعمال در خلاف جهت حرکت، موجب تغییر تندی جریان می‌شود و در واحد جرم به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$R = \frac{(k_b + k_s)U^2}{h} \quad (۴)$$

که U سرعت جریان، h ضخامت جریان، k_b ضریب کشش کف و k_s ضریب کشش سطح مشترک می‌باشند.
۲- نیروی کوریولیس حاصل از حرکت آب روی زمین چرخان می‌باشد. در نیمکره شمالی این نیرو ضمن اعمال بر جریان موجب تغییر جهت جریان بسمت راست می‌شود و در واحد جرم به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

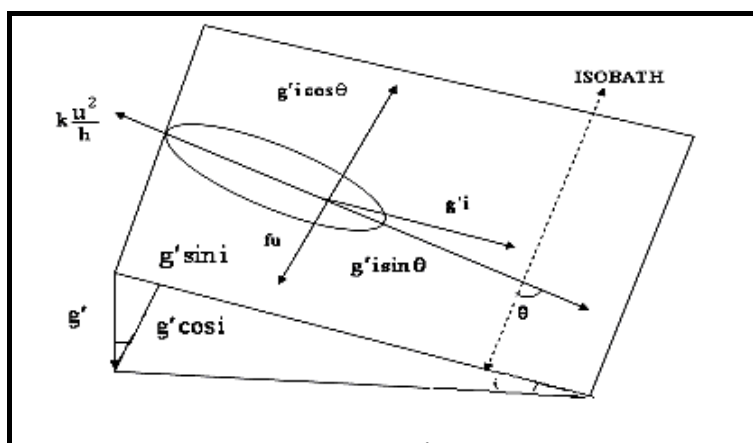
$$fU = 2\Omega \sin \Phi U \quad (۵)$$

که در آن Φ عرض جغرافیایی، f پارامتر کوریولیس ($f = 2\Omega \sin \Phi$) تابع عرض جغرافیایی و سرعت زاویه ای زمین و Ω سرعت زاویه ای زمین می‌باشند.

۳- نیروی گرانی کاهش یافته حاصل از افزایش چگالی آب نسبت به محیط می‌باشد. این نیرو ضمن اعمال به سمت مرکز زمین یعنی در راستای نیروی جاذبه موجب تغییر جهت جریان در راستای نیروی جاذبه می‌شود و در واحد جرم به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$g' = g \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right) \quad (۶)$$

که g شتاب جاذبه، ρ چگالی آب دریا و $\Delta \rho$ اختلاف چگالی سیال جریان و محیط می‌باشد.



شکل ۶- تصویر نیروهای مؤثر بر جریان گرانی روی سطح شیبدار

روابط زیر به علت وابستگی میزان و جهت نیروهای مؤثر بر سمت و سرعت جریان، از طریق تصویر نیروهای مؤثر در جهت محور جریان و عمود بر محور جریان طبق شکل ۶ بدست می‌آیند:

$$g'i \sin \theta = \frac{k U^2}{h} \quad (۷-الف)$$

$$g'i \cos \theta = f U \quad (۷-ب)$$

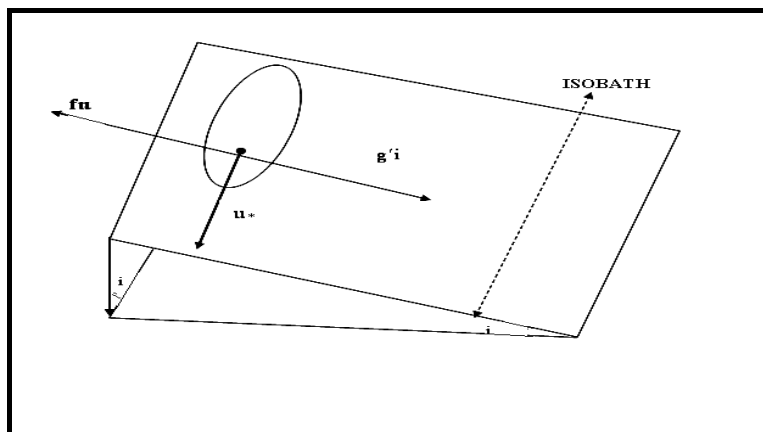
که در آن θ زاویه شیب کف دریا نسبت به سطح افق و θ زاویه بین هم عمق‌ها و محور جریان می‌باشند و با تقسیم روابط ۷ بر یکدیگر، زاویه بین هم عمق‌ها و محور جریان، θ ، بدست می‌آید:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{kU}{fh} \Rightarrow \theta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{kU}{fh} \right) \quad (۸)$$

این جریان به علت حضور اصطکاک تحت زاویه θ به سمت پایین شیب سر می‌خورد. این جریان در اقیانوس شناسی به جریان گرادیان خالص موسوم می‌باشد.

در صورت عدم حضور اصطکاک، که امکان وقوع چنین حالتی در طبیعت بسیار نادر است و فقط در آزمایشگاه امکان حذف اصطکاک وجود دارد، جریان در راستای هم عمق‌ها به سمت پایین شیب تحت سرعت مانای زیر حرکت می‌کند، شکل ۷:

$$U_{k=0} = \frac{g'i}{f} \quad (۹)$$



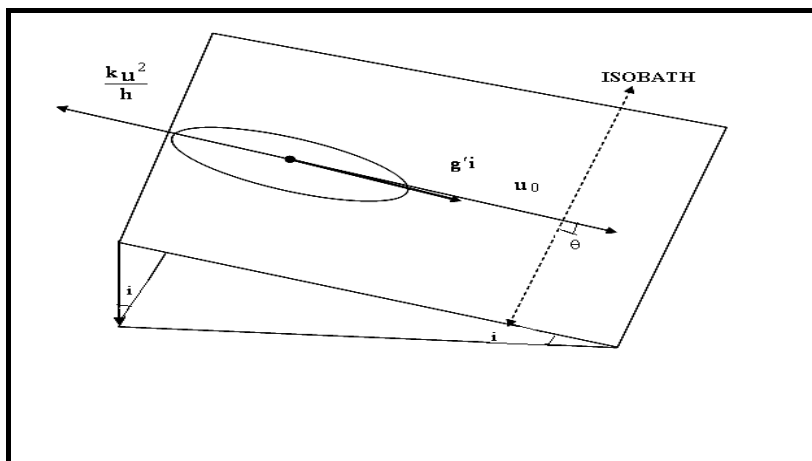
شکل ۷- تصویر نیروهای مؤثر بر جریان گرانی روی سطح شیبدار در غیاب نیروی اصطکاک (جریان زمینگرد)

اگر سرعت در قله شیب کمتر از $U_{k=0}$ باشد جریان به سمت پایین شیب سر می‌خورد تا با افزایش انرژی جنبشی حاصل از کاهش انرژی پتانسیل المان سیال به سرعت $U_{k=0}$ برسد. سرعت جریان بر روی سطح با شیب کم برابر سرعت جریان در مدخل خلیج فارس می‌باشد.

- در صورت عدم وجود نیروی کوریولیس، (امکان وقوع این حالت بر روی زمین چرخان وجود ندارد. این وضعیت تنها در عرض جغرافیایی استوایی ($fU = 2\Omega \sin \Phi U$) بعثت $\sin \Phi = \sin 0^\circ = 0$ امکان حضور دارد) جریان در

راستای عمود بر هم عمقها و بدون تغییر جهت تحت سرعت زیر حرکت می‌کند، شکل (۸)، تا ضمن انجام حرکت آبشاری در لبه شکست فلات قاره به تراز چگالی مناسب ریزش نماید:

$$U_{f=0} = \sqrt{\frac{g'ih}{k}} \quad (10)$$



شکل ۸- تصویر نیروهای مؤثر بر جریان گرانی روی سطح شیبدار در غیاب چرخش زمین

نتایج و بحث

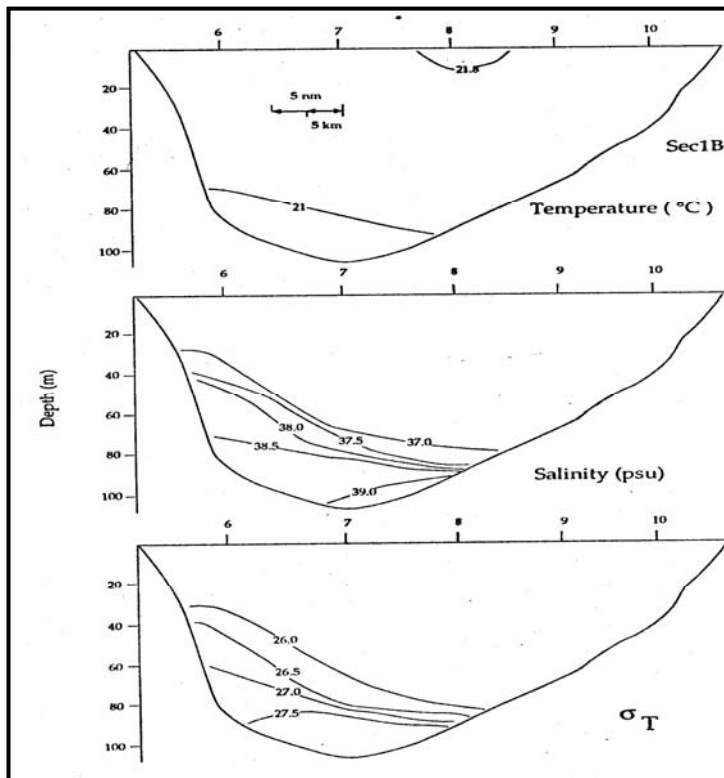
کاربرد روش تحقیق فوق در خلیج فارس

معادلات (۷) شامل سه مجهول، سرعت جریان، U ، ضریب اصطکاکی k (مجموع ضرایب کشش کف و سطح مشترک $(k_b + k_s)$) و زاویه بین هم عمقها و محور جریان، θ می‌باشند. مجهولات براساس حل معادلات (۷) و (۸) با جایگذاری مقادیر پارامترها با تخمین بر روی نمودارهای چگالی σ_t پردازش شده حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده در خلیج فارس توسط گشت تحقیقاتی کشتی مونت میشل مربوط به پروژه راپمی در طی ماه فوریه-ژوئن سال ۱۹۹۲ بدست می‌آیند.

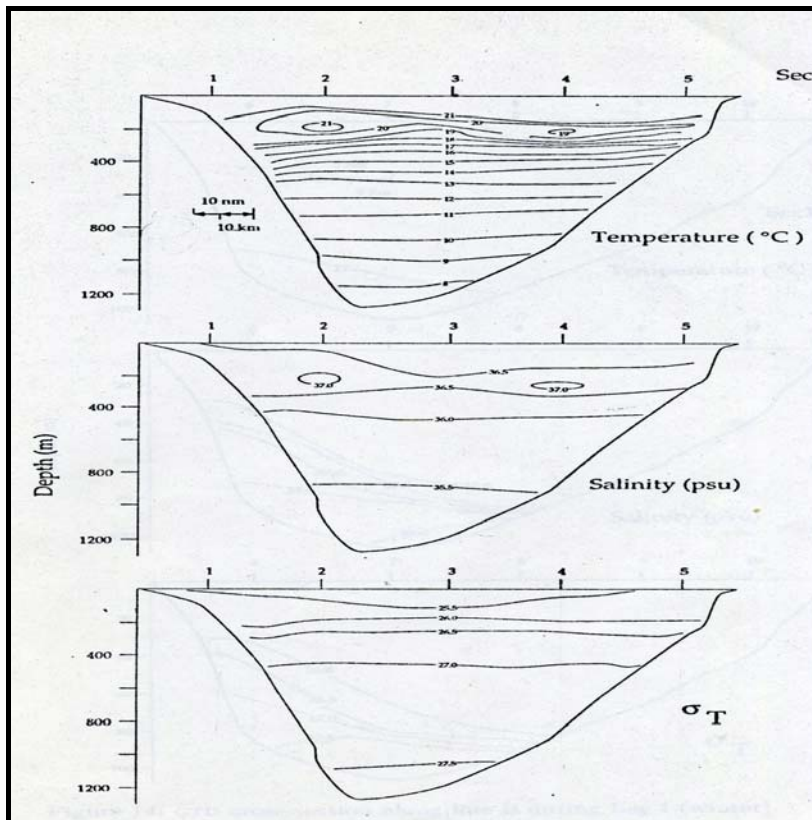
توازن عرضی جریان

برای تخمین سرعت جریان از معادله (۷-ب) استفاده می‌شود. در این معادله باید f ، g' و $i \cos \theta$ را تعیین کنیم. برای برآورد پارامتر کوریولیس، f ، در سه مقطع A ، B و C در عرض جغرافیایی، $\Phi = 26^\circ 30'$ معادل مقدار تقریبی $f \approx 0.65 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ می‌باشد.

- برای برآورد g' ، گرانی کاهش یافته، مقدار $\Delta \rho$ (اختلاف بالاترین مقدار خط همچگال در آن مقطع را از پایین ترین مقدار خط همچگال در مقطع C) در سه مقطع A ، B و C از شکل ۹، ۱۰ و ۳ را در رابطه (۶) قرار می‌دهیم.
- برای برآورد $i \cos \theta$ ، شیب متوسط سطح مشترک برابر با شیب متوسط کف دریا در این سه مقطع لازم است. شیب پوش بیرونی جریان (خط همچگال $\sigma_t = 27.5$) را از نمودار σ_t شکل ۹، ۱۰ و ۳ مربوط به سه مقطع A ، B و C تعیین می‌نماییم.^(۲)



شکل ۹- نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در امتداد مقطع B شکل (۱) (۵)



شکل ۱۰- نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در امتداد مقطع A از شکل (۱) (۵)

با جایگذاری مقادیر فوق در معادله (۷-ب)، مقدار سرعت جریان در سه مقطع مورد نظر بدست می آید. نتایج محاسبات حاصل از توازن عرضی جریان در جدول ۱ درج گردیده است.

جدول ۱- سرعت متوسط محاسباتی برای سه مقطع در میان جریان خروجی

$\Phi=26^\circ, 30'$ $f=0.65 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ $\rho=1027 \text{ kg m}^{-3}$ $g=9.8 \text{ m s}^{-2}$				
مقطع	$i \cos\theta$	$\Delta\rho \text{ (kg m}^{-3}\text{)}$	$g' \text{ (m s}^{-2}\text{)}$	$u \text{ (m s}^{-1}\text{)}$
A	۰/۰۱۹۱۹	۱	۰/۰۰۹۵	۲/۸
B	۰/۰۰۳۵۳	۱	۰/۰۰۹۵	۰/۵۱
C	۰/۰۰۲۶۴	۲	۰/۰۱۹۱	۰/۷۷

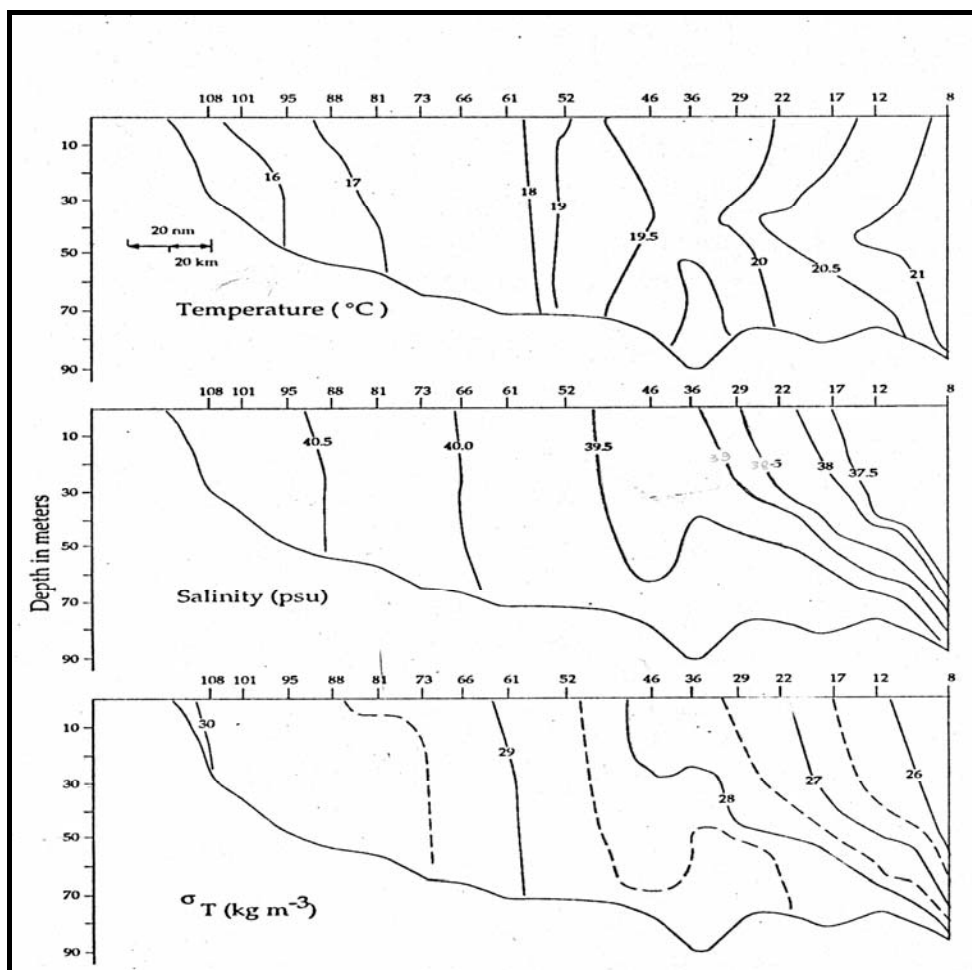
سرعت جریان در مقطع A خیلی بیشتر از مقاطع دیگر می باشد که بدلیل شیب بسیار زیاد وجود چنین سرعتی نسبت به مقاطع دیگر قابل انتظار می باشد. تصور می شود واداشتی کژفشاری (غیرباروتروپیک) در این مقطع معتبر نیست و دلالت به وجود شیب سطحی دارد. در چنین موردی معادله (۷-ب) اختلاف سرعت بین جریان در لایه بالاتر و پایین تر می باشد. ولی یک تخمین واقعی تر از سرعت جریان خروجی در مدخل حدود نصف مقادیر سرعت جریان در جدول بالا می باشد (بعلت پیوستگی فرض می شود که سرعت های جریان ورودی و خروجی تقریباً مساوی هستند).^(۲) بنابراین سرعت جریان گرانی خروجی از مدخل خلیج فارس، در مقطع C، نصف مقدار جدول در مقطع C می باشد یعنی حدود $U=0.385 \approx 0.4 \text{ m/s}$ است.

توازن طولی جریان

برای تخمین ضریب اصطکاک از معادله (۷-الف) استفاده می شود و باید $g' h$ و $i \sin\theta$ تعیین شود. برای برآورد h ضخامت جریان لازم است فاصله عمودی بین خط همچگال لایه پایینی جریان ($\sigma_t = 27.5$) و لایه بالایی جریان ($\sigma_t = 26.5$) از شکل ۱۱ مشخص شود.

- برای برآورد g' ، گرانی کاهش یافته، مقدار $\Delta\rho$ ، اختلاف بین خط همچگال لایه پایینی جریان ($\sigma_t = 27.5$) و بالایی جریان ($\sigma_t = 26.5$) را در امتداد محور طولی جریان شکل ۱۱ تعیین و در رابطه (۶) قرار می دهیم.

- برای برآورد $i \sin\theta$ ، شیب پایین سو لازم است شیب پوش بیرونی جریان (خط همچگال $\sigma_t = 27.5$) را از نمودار σ_t شکل ۱۱ تعیین نماییم.^(۲)



شکل ۱۱- نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در امتداد محور طولی خلیج فارس (۵)

مقادیر تخمینی حاصل از توازن طولی جریان به شرح زیر می باشد:

$$\begin{aligned}
 i \sin \theta &= 0.375 \times 10^{-3} \\
 h &= 35 \text{ m} \\
 \Delta \rho &= 1 \text{ kg.m}^{-3} \\
 g' &= 0.0095 \text{ m.s}^{-2}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

با جایگذاری مقادیر فوق و میزان تقریبی سرعت جریان گرانی خروجی از خلیج فارس به میزان 0.4 m/s در معادله

(۷-الف)، ضریب اصطکاک می شود:

$$k = k_s + k_b = 0.783 \times 10^{-3}$$

با جایگذاری مقادیر f, h, k و U در معادله (۸)، θ ، زاویه بین هم عمقها و محور جریان گرانی خروجی از خلیج فارس بدست می‌آید:

$$\theta = 7.84 \text{ deg} = 7^{\circ}, 49'$$

جریان گرانی که به جریان گرانی یا شناوری موسوم می‌باشد در اثر گرادیان های افقی چگالی بوجود می‌آید. بررسی این جریان ها از نظر اقیانوس شناسی بعلاوه کاربرد بسیار زیاد دارای اهمیت وافری می‌باشد. این جریان در صنعت مخابرات در زیر دریا، انتقال مواد نفتی از طریق لوله گذاری در دریا، شیلات، انتقال آلودگی دریایی، فعالیت های نظامی زیر دریایی و ... مورد توجه بسیار زیاد می‌باشد. جریان گرانی در محیط های دریایی عمدتاً در دریا های نیمه بسته مانند خلیج اسپنسر در جنوب استرالیا، خلیج فارس، دریای سرخ و ... ظاهر می‌شود و هر چه اختلاف چگالی زیادتر باشد سرعت جریان بیشتر می‌شود. اقیانوس شناسان به آن زبان بنوپارت نیز می‌گویند.

به دلیل گرادیان قائم چگالی مدخل خلیج فارس ۲ برابر نسبت به گرادیان قائم چگالی مدخل خلیج اسپنسر، جریان گرانی خروجی از خلیج فارس دارای سرعتی بیش از سرعت جریان گرانی خروجی از خلیج اسپنسر می‌باشد. اقیانوس شناسان به آن زبان بنوپارت نیز می‌گویند.

چگالی آب در مناطق کم عمق خلیج یعنی سمت جنوب و جنوب غربی خلیج فارس بیشتر می‌باشد که ناشی از شوری بالای آب های سطحی در این مناطق می‌باشد. کم عمقی خلیج فارس موجب افزایش شوری آب ها در اثر تبخیر می‌شود زیرا تبخیر به تنهایی قادر به تولید آب هایی تا این حد شور نمی‌باشد. نحوه تشکیل جریان گرانی در محیط دریایی از نظر فیزیکی بترتیب شامل افزایش شوری آب سطح در اثر تبخیر ناشی از گرمایش تابستانی، افزایش چگالی و کاهش دمای آب شور سطحی در سرمایش زمستانی، ایجاد شرایط ناپایداری گرانشی در دریا و اعمال نیروی جاذبه بر روی آب شور سرد سطحی چگالتر از لایه های زیرین و ریزش به سمت کف و حرکت بسمت تراز چگالی مناسب و پیوستگی جرم بصورت جریان گرانی می‌باشد.

شوری آب خلیج فارس شدیداً تحت تأثیر تبخیر می‌باشد و میزان بارش و رواناب رودها نقش چندانی در کاهش شوری ایفا نمی‌کند.

سرعت جریان گرانی خروجی از مدخل خلیج فارس براساس معادلات مانای غیرزمینگرد توسط روش دینامیکی تصویر هندسی نیروها حدود 0.4 m/s و جهت آن نسبت به هم عمق ها حدود $7/84^{\circ}$ می‌باشد. این جریان در طی سال وجود دارد اما شدت آن در طی ماه های فوریه- ژوئن شدت می‌یابد و در ماه مارس به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

نتیجه گیری

اهم نتایج حاصل از این تحقیق در مورد بررسی جریان گرانی خروجی خلیج فارس به شرح ذیل می‌باشد:

۱- جریان گرانی خروجی از خلیج فارس به صورت دائمی برقرار است اما میزان انتقال جرم در طی ماه های فوریه- ژوئن شدت یافته و در ماه مارس به بیشینه مقدار می‌رسد.

- ۲- سرعت متوسط جریان گرانی خروجی از خلیج فارس حدود 0.4 m/s می باشد.
- ۳- جریان گرانی خروجی از خلیج فارس تحت زاویه $7/84^\circ$ نسبت به عمقها به سمت پایین شیب حرکت می کند.
- ۴- ضریب نیروی اصطکاکی در جریان گرانی خروجی از خلیج فارس حدود $10^{-3} \times 0.783$ می باشد.

References:

1. Simpson, J.E., *Gravity Currents; In the Environment and the Laboratory*, Ellis Harwood Limited, England (1987)
2. Bowers, D.G., and Lennon, G.W., *Con. She. Res.*, **9** (7), 1105 (1987).
3. Lennon, G.W, Bowers, D.G., Nunes, R.A., Scott, B.D., Ali, M., Boyle, J., Wenju, C., Herzfeld, M., Johansson, G., Nield, S., Petrusevies, P., Stephenson, P., Suskin, A.A. and Wijffels, S.E.A., *Nature*, **6124** (327), 695 (1987).
4. Chao, S.Y., Kao, T.W., and Hajri, K.R., *Nav. Res.*, 44 (1992).
5. Reynolds, R.M., *Proceeding of 1st Scientific Workshop on the Results of the R/V Mt. Mitchell Cruise*, 7 (1993).
6. Bitan, A., and Sa'aroni, H., *Inter. J. Clim.*, **12**, 733 (1992).
7. Khaleghi Zavareh, H., *PHD Thesis: The Development of Non-linear Barotropic Model for the Wind and the Tide Driven Circulation in the Persian Gulf*, Department of Meteorology and Oceanography College of Science-University of the Philippines, Philippines (1992).
8. Jafarian Abyaneh, F., *MSC Thesis: Effect of Meteorology Parameters on the Gravity Current in the Persian Gulf*, Geophysics Institute-Tehran University, Iran (1993)