

## بررسی عناصر هواشناختی مؤثر بر جریان گرانی خروجی از خلیج فارس

فاطمه جعفریان ایبانه<sup>۱\*</sup>، عباسعلی علی اکبر بیدختی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، سازمان هواشناسی کل کشور

۲- دانشیار موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۴/۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۴

### چکیده

برهم کنش هوا- دریا موجب بروز بسیاری از پدیده‌های منحصر به فرد در جو و اقیانوس می‌شود که یکی از اینها جریان گرانی یا چگال در محیط‌های دریایی نیمه بسته خاص مانند خلیج فارس می‌باشد. این جریان به عنوان مؤلفه ای از گردش آبهای دریا، نقش مؤثری بر روی برخی از فعالیت‌های دریایی از قبیل نظامی، مخابراتی، صیادی، تحقیقاتی و تبادل آبها و انتقال آلودگی‌های دریا دارا می‌باشد. هدف این مطالعه، بررسی فیزیکی عناصر هواشناختی مؤثر بر جریان گرانی خروجی از خلیج فارس از قبیل تبخیر، دما، باد و بارش و غیرهواشناختی مؤثر از جمله جزرو مد و رواناب رودها و همچنین برآورد میزان کمی تأثیر آنها می‌باشد. این مطالعه نشان می‌دهد که با فرض عدم انتقال جرم در خلیج فارس، تبخیر سالانه از خلیج فارس موجب افزایش شوری آب به میزان  $2/20$  (psu) و تقویت جریان گرانی و بارش سالانه در خلیج فارس موجب کاهش شوری آب خلیج به میزان  $0/07$  (psu) و تضعیف جریان گرانی و رواناب سالانه رودها به خلیج فارس موجب کاهش شوری آب خلیج به میزان  $0/5$  (psu) و تضعیف جریان گرانی می‌شود. به علاوه دما با دو نقش فصلی و متضاد، باد با دو نقش متضاد، مواد آلاینده با دو نقش متضاد بسته به وزن ویژه آنها و جزرومد با نقش تضعیف کنندگی بر جریان گرانی خروجی از خلیج فارس مؤثر می‌باشند. به علاوه یک رابطه ریاضی بین تغییر کمیت‌های دما و شوری آب دریا جهت تعیین احتمال ظهور جریان گرانی در محیط‌های دریایی بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** جریان گرانی - دریاها نیمه بسته - خلیج فارس - عناصر هواشناختی - تبادل آبها - ترموکلاين و گردش ترموهالاین.

### سرآغاز

قدیمی دارد. از جریان‌های گرانی ناشی از مواد تعلیقی در جو می‌توان به ابر خاکی و بهمن برف و از جریان‌های گرانی ناشی از اثرات گرمایی به نسیم کوهستان و باد دره‌ای اشاره نمود. مکان ظهور جریان‌های گرانی تعلیقی در اقیانوس‌ها بر روی نواحی شیبدار و زمان شروع آنها با سرخوردن لجن روی شیب همزمان می‌باشد. جریان‌های گرانی تعلیقی با سرعت‌هایی در حدود ۳۰ متر بر ثانیه قادر به طی هزاران کیلومتر و حفر کانال در بستر می‌باشند، (Simpson, 1987).

جریان‌های گرانی در محیط‌های دریایی اغلب به صورت جریان آب شور گرمی است که ناشی از یک یا چند عامل فوق می‌باشند. این جریان‌ها در دریاها کاملاً قابل رؤیت نیستند بلکه می‌توان به وجود آنها از طریق خطوط کف‌جوش واقع در سطح، ناشی از همگرایی آنها در

جریان گرانی<sup>۱</sup> که به جریان چگال یا شناوری موسوم می‌باشد در اثر گرادبان‌های افقی چگالی حتی با درصد کم در محیط‌های طبیعی و مصنوعی ناهمگن<sup>۲</sup> بوجود می‌آید. از عوامل ایجاد گرادبان افقی چگالی می‌توان به اثرات گرمایی، افزایش مواد محلول مانند شوری و یا مواد تعلیقی در سیال اشاره نمود.

رهائی اتفاقی گازهای چگال سمی یا قابل انفجار که در طی سال‌های اخیر در صنعت مورد توجه قرار گرفته نیز یک جریان گرانی بشمار می‌آیند. جریان‌های گرانی که در جو، اقیانوس، صنعت، آزمایشگاه و حتی منازل ظاهر می‌شوند همگی دلالت بر اهمیت آنها در تهویه طبیعی ساختمان‌های صنعتی، اداری و مسکونی و حتی ساختمان‌های

اندازه‌گیری‌های اخیر نمایانگر وجود جریان عمیق خروجی به صورت نسبتاً مانا در طی سال است. انجام این مطالعه به دلیل عدم وجود تحقیق بر روی بررسی عناصر هواشناختی مؤثر بر جریان‌گرانی خروجی از خلیج فارس ضروری و هدف آن، بررسی اثرات کمی و کیفی عناصر هواشناسی و غیرهواشناسی بر جریان‌گرانی خروجی از خلیج فارس 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 به دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند متصل می‌شود.

خلیج فارس دارای طولی حدود ۹۹۰ کیلومتر، مساحتی حدود ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع، عرض حداکثری حدود ۲۳۰ کیلومتر (عرض تنگه هرمز حدود ۶۰ کیلومتر)، عمق حداکثری حدود ۱۰۰ متر و حجمی حدود ۸۶۳۰ کیلومتر مکعب مربوط به عمق متوسط ۳۶ متر می‌باشد. کوبرهای 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، هبله رود، هنديجان، کارون، دجله و فرات به خلیج فارس می‌ریزند که میزان سالانه رواناب رودها به خلیج فارس حدود ۴۶ سانتی‌متر است (Reynolds, 1993).

اینک به مروری بر خلیج فارس از دیدگاه‌هواشناسی 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 درجه سانتیگراد و کمینه آن حدود ۸ درجه سانتیگراد می‌باشد و شرایط تابستانی در خلیج فارس از اواخر ماه مارس شروع و تا اواخر ماه اکتبر ادامه دارد. بیشینه میانگین روزانه دمای هوا در حدود ۲۹ درجه سانتیگراد و میانگین دمای هوا در بعد از ظهر حدود ۴۳ درجه سانتیگراد می‌باشد، (IMCOS, 1976).

گردش مونسون در زمستان بادهای شدید شمالی و در تابستان بادهای جنوبی را بوجود می‌آورد. معروف‌ترین پدیده آب و هوای در خلیج فارس یک باد شمال غربی موسوم به شمال<sup>۶</sup> می‌باشد که در طی

کف، پی برد. تا کنون تحقیقاتی بر روی جریان‌گرانی صورت گرفته که به چند مورد اشاره می‌شود:

۱- Lennon و Bowers (1987) خلیج اسپنسر واقع در جنوب استرالیا را توسط داده‌های اقیانوس‌شناسی اندازه‌گیری شده در ژولای ۱۹۸۲ تا ژانویه ۱۹۸۵ مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده حاکی از حضور جریان‌گرانی خروجی از خلیج اسپنسر در فصل زمستان است. این جریان زمستانی با سرعتی حدود ۰/۱ متر بر ثانیه از انتهای غربی تنگه کانگورو با طی مسیری حدود ۱۰۰ کیلومتر و حرکت به سمت پایین از دهانه خلیج به صورت آبشاری ریزش می‌نماید که اقیانوس‌شناسان محلی به این جریان به علت خروج از دهانه خلیج به شکل زبان، زبان بناپارت<sup>۳</sup> می‌گویند، (Lennon et al., 1987).

۲- Chao و همکاران (1992) با مطالعه توسط مدل عددی بر روی گردش آبهای خلیج فارس پی‌بردند که گردش سیکلونیک در بخش جنوبی و در گوشه شمال غربی خلیج فارس بترتیب ناشی از تخیر و تخلیه شط‌العرب است. جریان ساحلی جنوب سو در امتداد سواحل عربی بین رأس خلیج فارس و قطر حاکم می‌باشد. یک جت ساحلی ناشی از باد در شرق قطر نیز توسط مدل پیش‌بینی می‌شود که در غرب قطر دیده نمی‌شود.

۳- جریان‌گرانی در خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل حاکی از حضور جریان‌گرانی خروجی تالاطمی با سرعتی حدود ۱ متر بر ثانیه است. به علاوه میزان تخلیه و تبادل<sup>۴</sup> آب‌های خلیج فارس با دریای آزاد توسط جریان‌گرانی به بیشینه‌ای در ماه مارس می‌رسد (جعفریان ابیانه، ۱۳۷۲).

۴- Bower و Swift (2002) تشکیل و گردش جریان چگال در خلیج فارس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مطالعه آنها بیانگر حضور جریان‌گرانی به عنوان بخشی از مؤلفه گردش در خلیج فارس با مکان تشکیل آب شور با چگالی لازم روی مخزن کم عمق بخش جنوبی خلیج فارس در طی فصل زمستان است.

۵- Johns و همکاران (1999) در کارگاه آموزشی مرکز فضایی Stennis در مورد خلیج‌ها و دریاهای حاشیه‌ای عربی گزارش نمودند که میزان تبادل سالانه آب از تنگه هرمز طبق مدل‌های عددی حدود<sup>۵</sup> (Sv) ۰/۴-۰/۱ (Chao et al., 1992, Holton et al., 1994) است که به صورت سیستم پیچیده‌ای از تبادل افقی و قائم صورت می‌گیرد.

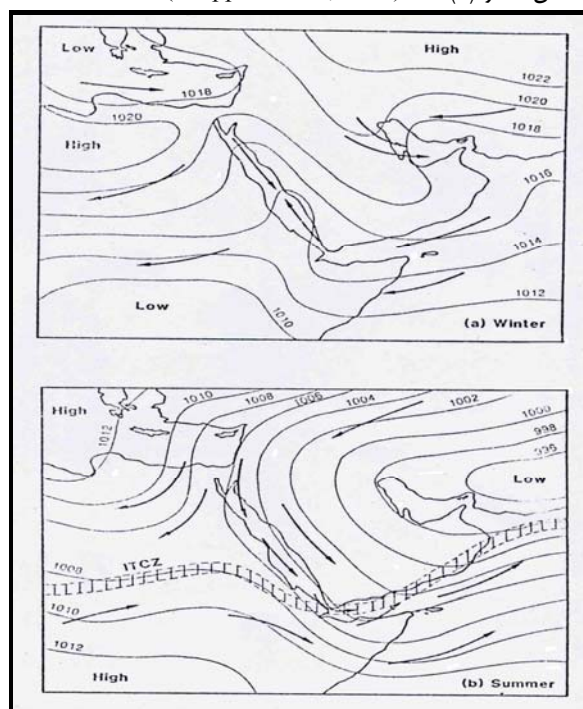
ناوه<sup>۹</sup> فشاری خلیج فارس یک زبانه کم فشار حرارتی و شاخه‌ای از مانسون<sup>۱۰</sup> کم فشار غالب است که در اثر گرمایش قاره‌ها در آسیای جنوب غربی گسترش می‌یابد. این ناهه به علت منشأ گرمائی محدود به ارتفاع ۱۵۰۰ متری است و در اواسط ماه ژوئن ظاهر، اواخر ماه ژوئن به حالت پایدار و طی ماه اوت و ژولای با قرار گرفتن در شرایط غالب بطور بسیار سریعی در اواسط ماه سپتامبر ناپدید می‌شود. انتظار می‌رود گسترش افقی و قائم ناهه فشاری خلیج فارس تحت تأثیر تغییرات روزانه دما قرار گیرد (Bitan & Sa'aroni, 1992).

میزان سالانه بارش خلیج فارس حدود ۷ سانتی متر است (Reynolds, 1993). تغییرات فصلی دمای آب سطح خلیج فارس بسیار زیاد است. گرادیان افقی دمای آب سطح خلیج فارس در فصل زمستان زیاد است بطوریکه از ۱۶ درجه سانتیگراد در رأس به ۲۲ درجه سانتیگراد در دهانه خلیج می‌رسد. دمای آب سطح در فصل تابستان با گرادیان افقی تقریبی ۱/۲ درجه سانتیگراد، حدود ۳۳ درجه سانتیگراد است (Chao, et al., 1992, Reynolds, 1993).

Hassan و Meshal (1986) میزان سالانه تبخیر از خلیج فارس را حدود ۲۰۰ سانتی متر برآورد نموده‌اند. شوری آب سطح خلیج در فصل زمستان زیادتر از تابستان است و از  $36.5 - 37$  (psu) در نزدیکی تنگه هرمز تا  $41 - 42$  (psu) در آب های ساحلی عربستان سعودی تغییر می‌کند (Chao et al., 1992, Reynolds, 1993) و شوری بالا در آب‌های سطحی مناطق کم عمق خلیج فارس مشهود است. بنابراین چگالی آب در مناطق کم عمق خلیج، سمت جنوب و جنوب غربی، بیشتر است. در واقع کم عمقی خلیج فارس موجب افزایش شوری آب‌ها در اثر تبخیر می‌شود زیرا تبخیر به تنهایی قادر به تولید آب‌هایی تا این حد شور نمی‌باشد. 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 می‌یابد. گردش آب‌های خلیج فارس شامل جریان ورودی آب‌ها از طریق تنگه هرمز با شوری معمول دریای آزاد و دمای پایین‌تر از دمای آب‌های سطح خلیج، ریزش آب‌های چگال در نیمه جنوبی خلیج و خروج جریان آب‌های شور و گرم در عمق از طریق تنگه هرمز است (Swift & Bower, 2002). سرعت جریان سطحی در بهار و پائیز حدود ۰/۱ متر بر ثانیه و در تابستان حدود ۰/۲ متر بر ثانیه است (Chao, et al., 1992).

سال اتفاق می‌افتد. معمولاً ابتدا شمال از سمت شمال غربی می‌وزد و سپس بسمت جنوب گسترش می‌یابد. شمال تابستانی از اوایل ژوئن تا ژولای می‌وزد و با شدت نسبی کم فشارهای گرمائی عربی و هندی همراه است. شمال زمستانی با نیرو و شدت زیاد ناشی از سیستم سینوپتیکی شمال غربی برقرار می‌شود. سرعت شمال بندرت از ۱۰ متر بر ثانیه تجاوز می‌کند و روزهای متعددی دوام دارد. در جلو جبهه سرد بادهایی از جنوب غربی موسوم به شاک<sup>۷</sup> می‌وزند که شدت آنها بکندی ضمن رسیدن به جبهه سرد افزایش می‌یابد (Reynolds, 1993).

طوفان‌های همراه با رعد و برق و مه بسیار نادر هستند. نسیم‌های دریایی قوی ناشی از اختلاف شدید دمای سطح آب و خشکی عمدتاً در امتداد خطوط ساحلی تشکیل می‌شوند (Reynolds, 1993). نقشه همدیدی فشار سطح زمین در منطقه خلیج فارس دارای الگویی مشابه شکل شماره (۱) است (Sheppard et al., 1992).



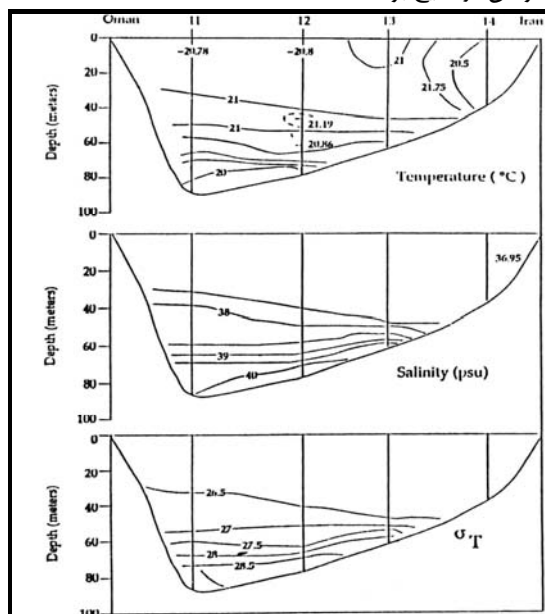
شکل شماره (۱): نقشه همدیدی نمونه فشار سطح زمین در منطقه خلیج فارس در فصل زمستان (بالا) و فصل تابستان (پایین)

"High" = فشار زیاد "Low" = فشار کم <sup>۸</sup> "ITCZ" = منطقه همگرایی بین گرمسیری (Sheppard et al., 1992).

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

### جریان گرانی خلیج فارس

جهت انجام این تحقیق لازم است ابتدا حضور جریان گرانی در خلیج فارس مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین نیمرخ‌های دما، شوری و چگالی خلیج فارس با خلیج اسپنسر مورد مقایسه قرار گرفتند. نیمرخ‌های خلیج فارس حاصل از پردازش داده‌های گشت کشتی مونت میشل مربوط به پروژه  $ROPME^{14}$  می‌باشند. نتایج حاصل از این مقایسه حاکی از وجود جریان گرانی قوی‌تری در خلیج فارس نسبت به خلیج اسپنسر می‌باشد. زیرا طبق شکل شماره (۲)، گرادیان قائم شوری و چگالی در دهانه خلیج فارس بترتیب حدود  $(2/5 \text{ (psu} \cdot \text{m}^{-1})$  و  $(2 \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-4})$  می‌باشد در صورتی که براساس تحقیق Bowers و Lennon (1987)، گرادیان قائم شوری و چگالی در دهانه خلیج اسپنسر بترتیب حدود  $(1 \text{ (psu} \cdot \text{m}^{-1})$  و  $(1 \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-4})$  می‌باشد. بعلاوه Bower و Swift (2002) با انجام تحقیقی بر روی مکان تشکیل و گردش آب چگال در خلیج فارس پی به حضور جریان گرانی در خلیج فارس به عنوان بخشی از مؤلفه گردش در خلیج بردند.



شکل (۲): نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در مدخل خلیج فارس (تنگه هرمز) (Reynolds, 1993).

جریان‌های جزرومدی با قرارگرفتن به موازات محور خلیج فارس به سرعت‌هایی حدود  $0/5$  متر بر ثانیه تا عمق ۴ متری بالای کف می‌رسند. گاهی سرعت این جریان‌ها در کانال‌های ابوظبی (عربستان سعودی)  $0/6$  متر بر ثانیه و حتی در تنگه هرمز تا ۲ متر بر ثانیه گزارش شده است (Khaleghi Zavareh, 1992).

### نظریه فیزیکی جریان‌های گرانی در محیط‌های دریایی

جریان‌های گرانی در محیط‌های طبیعی یا مصنوعی در اثرگرادیان‌های افقی چگالی حتی با درصد کم توسط اثرات گرمایی، افزایش مواد محلول مانند شوری و یا مواد تعلیقی در سیال ایجاد می‌شوند. اینک به بررسی فیزیکی چگونگی تشکیل جریان گرانی در مناطق دریایی کم‌عمق می‌پردازیم. حجم قابل توجهی از آب دریا در اثر فرآیند تبخیر در طول تابستان در اثر گرمایش سطح آب کاهش یافته که منجر به افزایش شوری و چگالی آب دریا می‌شود. اما افزایش چگالی ناشی از کاهش حجم آب دریا توسط فرآیند تبخیر با انبساط حجمی آب توسط گرمایش خنثی می‌شود. با شروع فصل سرما، چگالی آب شور سطحی در اثر انقباض حجمی آب توسط سرمایش افزایش یافته و موجب سنگینی نسبی لایه فوقانی آب و ناپایداری گرانشی می‌شود. در این موقع نیروی جاذبه بر روی توده شناور چگالتر از محیط اطراف اثر نموده و سبب ریزش توده سیال شناور چگال به سمت کف می‌شود. در اقیانوس‌شناسی به این حرکت، گردش ترموهالاین<sup>۱۲</sup> می‌گویند. توده آب ریزشی در جهت کاهش گرادیان افقی چگالی و رسیدن به تراز چگالی مناسب به صورت جریان افقی موسوم به جریان گرانی یا چگال حرکت می‌کند (جعفریان ایبانه، ۱۳۷۲). نیروی رانشی جریان گرانی فقط ناشی از اختلاف در وزن ویژه یا وزن واحد حجم است که با افزایش اختلاف چگالی دو سیال افزایش می‌یابد. در صورت تبدیل کل انرژی پتانسیل توده سیال ریزشی به انرژی جنبشی، سرعت جریانی گرانی،  $U$ ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U = (2 \cdot g' \cdot H)^{1/2} \quad (1)$$

که  $U$  سرعت و  $H$  ارتفاع میانگین جریان گرانی و  $g'$  گرانشی کاهش یافته<sup>۱۳</sup> می‌باشند و  $g'$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (2)$$

رابطه ریاضی را جهت تعیین احتمال ظهور جریان گرانی در محیط‌های دریایی بدست می‌آوریم. چگالی آب دریا تابع دما، شوری و فشار است که شکل دیفرانسیلی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\Delta\rho = \frac{\partial\rho}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial\rho}{\partial S} \Delta S + \frac{\partial\rho}{\partial P} \Delta P \quad (۳)$$

که در آن  $\rho$ ،  $S$ ،  $T$  و  $P$  بترتیب چگالی، شوری، دما و فشار آب دریا و  $\Delta\rho$ ،  $\Delta T$ ،  $\Delta S$  و  $\Delta P$  بترتیب میزان تغییر چگالی، دما، شوری و فشار آب دریا هستند.

به علت تراکم‌پذیری اندک آب دریا، نقش اصلی در تغییر چگالی آب دریا بعهده دو عامل دما و شوری می‌باشد. بنابراین رابطه (۳) به صورت زیر کاهش می‌یابد:

$$\Delta\rho = \frac{\partial\rho}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial\rho}{\partial S} \Delta S \quad (۴)$$

و ضریب انبساط گرمایی<sup>۱۷</sup>،  $\alpha$  و ضریب انبساط شوری<sup>۱۸</sup>،  $\beta$  بصورت زیر تعریف می‌شوند (Chao, et al., 1992).

$$\alpha = -\left(\frac{1}{\rho}\right) \cdot \left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right) = 3 \times 10^{-4} (\text{C}^\circ)^{-1} \quad (\text{الف-۵})$$

$$\beta = \left(\frac{1}{\rho}\right) \cdot \left(\frac{\partial\rho}{\partial S}\right) = 7.7 \times 10^{-4} (\text{psu})^{-1} \quad (\text{ب-۵})$$

رابطه (۴) با بکارگیری ضرایب بالا به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$\Delta\rho = -\alpha \cdot \rho \cdot \Delta T + \beta \cdot \rho \cdot \Delta S \quad (۶)$$

رابطه (۶) با اعمال شرط حضور جریان گرانی یعنی اختلاف چگالی مثبت به صورت زیر در می‌آید:

$$\Delta T < \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \Delta S \quad (۷)$$

با استفاده از مقدار عددی ضریب انبساط گرمایی و شوری، رابطه (۷) به شکل زیر تبدیل می‌شود:

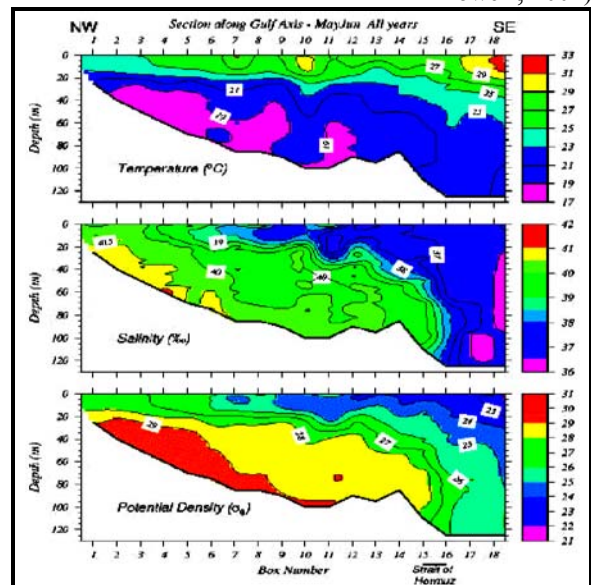
$$\frac{\Delta T}{\Delta S} < 2.55 \quad (۸)$$

این رابطه ریاضی به عنوان شرط لازم جهت تشکیل جریان گرانی در محیط‌های دریایی، قابل استفاده در تعیین احتمال ظهور جریان گرانی در محیط‌های دریایی می‌باشد.

اینک عناصر هواشناختی و غیرهواشناختی مؤثر بر جریان گرانی خروجی از خلیج فارس را از نقطه نظر فیزیکی مورد بررسی قرار داده و

همانطوری که از شکل شماره (۳) دیده می‌شود توسعه ترموکلاین<sup>۱۵</sup> فصلی در طی ماه‌های می-ژوئن ۱۹۹۲ موجب قرار گرفتن آب عمیق سرد شور دور از سطح خلیج فارس شده که بیانگر ریزش آب‌های چگال در طی فصل سرما و چینش چگالی جهت برقراری جریان گرانی است. شکل شماره (۴) تغییر آب سطحی اقیانوس هند<sup>۱۶</sup> (آب گرم با شوری کم) را در امتداد محور عرضی خلیج نزدیک طول جغرافیایی ۵۵ درجه شرقی را در ماه فوریه ۱۹۹۲ نشان می‌دهد که ضمن مخلوط شدن با آب سطح روی مخازن کم عمق و حرکت به سمت پایین شیب با آب عمق خلیج فارس مخلوط شده که نمایانگر مکان تشکیل آب چگال است (Swift & Bower, 2002).

Bower, 2002)



شکل شماره (۳): نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در امتداد محور طولی خلیج فارس در ماه‌های می-ژوئن سال ۱۹۹۲ (Swift & Bower, 2002).

### بررسی عناصر هواشناختی و غیرهواشناسی مؤثر بر جریان گرانی خلیج فارس

طبق تعریف جریان گرانی در مقدمه استنباط می‌شود که کلیه عوامل مؤثر بر ایجاد و تقویت گرادیان چگالی افقی، قادر به ایجاد و تقویت جریان گرانی و همچنین کلیه عوامل مؤثر بر تضعیف و نابودی گرادیان چگالی افقی، قادر به تضعیف و نابودی جریان گرانی هستند. اینک یک

سازی آب دریا موجب کاهش شوری و در نهایت تضعیف جریان گرانی می‌شود.

**باد** - باد نیز یکی دیگر از عناصر مهم هواشناختی است که دارای دو اثر متضاد بر جریان گرانی می‌باشد. باد با ایجاد تنش موجب پیدایش اختلاط در عمق نفوذ اصطکاکی باد، حذف چینش چگالی و تضعیف اندک جریان گرانی می‌شود. از طرف دیگر باد با دور نمودن بخار آب اشباع در اطراف سطح دریا موجب پیدایش محیط غیراشباعی می‌شود که در افزایش فرآیند تبخیر از جنبه میکروسکوپی و تقویت جریان گرانی مؤثر می‌باشد.

**تبخیر** - تبخیر از عناصر مهم هواشناختی وابسته به دما، باد و رطوبت هوا می‌باشد. تبخیر سالانه در خلیج فارس به میزان ۲۰۰ سانتیمتر با کاهش حجم آب از طریق تولید بخار آب موجب افزایش شوری آب دریا به میزان (psu) ۲/۲۰ و تقویت جریان گرانی در خلیج فارس می‌شود.

**بارش** - بارش یکی دیگر از عناصر مهم هواشناختی وابسته به دما می‌باشد. بارش سالانه در خلیج فارس به میزان ۷ سانتیمتر با افزایش حجم آب از طریق شیرین سازی آب موجب کاهش شوری آب به میزان (psu) ۰/۰۷ و تضعیف جریان گرانی در خلیج فارس می‌شود.

#### ب) عناصر غیر هواشناختی

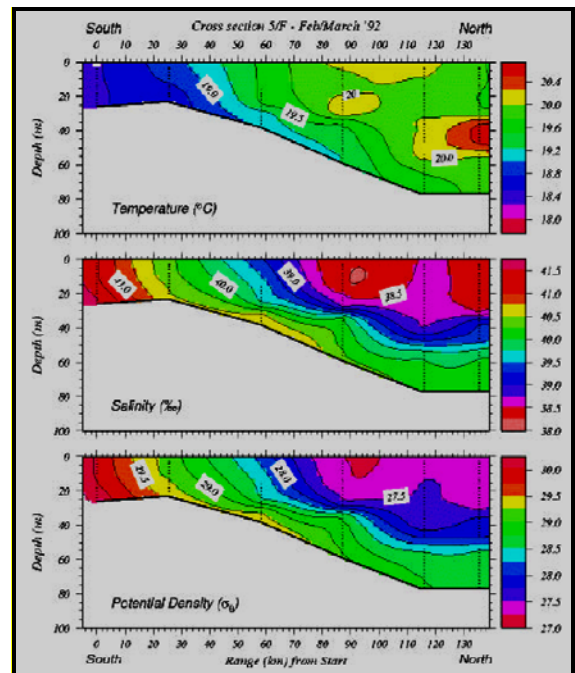
**جزرومد** - وقوع جزرومد موجب وقوع جریان‌های جزرومدی می‌شود که شدت آن‌ها به میزان نیروی جزرومدی و جهت آن‌ها به وقوع جزر یا مد بستگی دارد. جریان‌های جزرومدی با ایجاد تنشی چند برابر تنش حاصل از جریان گرانی تلاطمی و متلاطم نمودن جریان گرانی موجب اختلاط، نابودی چینش چگالی و در نهایت تضعیف جریان گرانی می‌شوند.

**رواناب رودها** - رواناب رودها از جمله عوامل وابسته به دما و بارش می‌باشد. رواناب سالانه رودها در خلیج فارس به میزان ۴۶ سانتیمتر با افزایش حجم آب از طریق شیرین سازی آب موجب کاهش شوری آب به میزان (psu) ۰/۵ و تضعیف جریان گرانی در خلیج فارس می‌شود.

**مواد آلاینده** - مواد آلاینده در محیط‌های دریایی از قبیل مواد فاضلاب کارخانه‌ها، کشتی‌ها، نشست و فوران نفت و غیره نیز می‌توانند بر جریان گرانی اثر نمایند.

اگر وزن ویژه مواد آلاینده بیشتر از وزن ویژه آب دریا باشد ضمن ایجاد ناپایداری گرانشی به سمت کف ریزش نموده و موجب تقویت جریان گرانی می‌شود و اگر وزن ویژه مواد آلاینده کمتر از وزن ویژه آب دریا باشد به صورت مانعی روی سطح دریا از اندرکنش طبیعی بین جو و

سپس جهت برآورد میزان تأثیر آن‌ها، فرض می‌کنیم که هیچ انتقال گرمی بین خلیج فارس با محیط اطراف وجود نداشته باشد.



شکل شماره ۴: نیمرخ قائم دما (بالا)، شوری (وسط) و چگالی (پایین) در امتداد محور عرضی خلیج نزدیک طول جغرافیایی ۵۵ درجه شرقی در فوریه ۱۹۹۲ (Swift & Bower, 2002)

#### الف) عناصر هواشناختی

**دمای هوا** - دمای هوا به عنوان یک عنصر هواشناختی بسیار مهم ضمن تأثیر بر دیگر عناصر هواشناختی از جمله تبخیر و حتی عناصر غیر هواشناختی دارای دو اثر متضاد و فصلی بر جریان گرانی می‌باشد. در فصل تابستان، افزایش دمای هوا از طریق گرمایش آب دریا موجب کاهش حجم، افزایش شوری و چگالی آب دریا و تقویت جریان گرانی توسط فرآیند تبخیر شده و از طرف دیگر موجب افزایش حجم و کاهش چگالی آب دریا و تضعیف جریان گرانی توسط انبساط حجمی آب دریا می‌شود.

در فصل زمستان، کاهش دمای هوا از طریق سرمایش آب شور دریا موجب کاهش حجم، افزایش چگالی آب‌های سطحی و ناپایداری گرانشی و تقویت جریان گرانی توسط انقباض حجمی آب دریا و در شرایط جوی مناسب (یعنی رطوبت کافی)، ضمن ایجاد بارش از طریق شیرین

۷- در صورت بسته بودن خلیج فارس یعنی عدم انتقال جرم، شرایطی مشابه دریاچه ارومیه بر خلیج فارس حاکم می‌شود ولی به علت وجود تنگه هرمز و اصل پیوستگی جرم، شرایط حاکم بر دریاچه ارومیه در خلیج فارس اتفاق نمی‌افتد زیرا افزایش شوری توسط پارامترهای تضعیف‌کننده جریان گرانی در خلیج فارس جبران می‌شود.

دریا از قبیل فرآیند تبخیر جلوگیری نموده و موجب تضعیف جریان گرانی به عنوان بخشی از مؤلفه‌ی گردش و نهایتاً اختلال در سیر طبیعی گردش آب‌های خلیج فارس را فراهم می‌نماید. بنابراین با فرض عدم انتقال جرم بین خلیج فارس با محیط اطراف، شوری خلیج فارس با احتساب میزان سالانه رواناب رودها، بارش و تبخیر حدود (psu) ۱/۶ افزایش می‌یابد.

### یادداشت‌ها

### نتایج

نتایج حاصل از این تحقیق در مورد تأثیر عناصر هواشناختی بر جریان گرانی خروجی خلیج فارس به شرح ذیل می‌باشند:

۱- به دلیل وجود گرادیان قائم چگالی بزرگتر در دهانه خلیج فارس نسبت به دهانه خلیج اسپنسر، جریان گرانی خروجی خلیج فارس قویتر از خلیج اسپنسر می‌باشد.

۲- رابطه ریاضی بین تغییر کمیت‌های دما و شوری جهت ایجاد جریان گرانی در محیط‌های دریایی به شکل زیر بیان می‌شود که احتمال ظهور جریان گرانی را تعیین می‌کند:

$$\frac{\Delta T}{\Delta S} < 2.55$$

۳- جریان گرانی خروجی از خلیج فارس تحت تأثیر عناصر هواشناختی دما، تبخیر، بارش و باد و عناصر غیرهواشناختی جزرومد، رواناب رودها و مواد آلاینده قرار دارد.

۴- عناصر تقویت‌کننده جریان گرانی خروجی از خلیج فارس تبخیر و عناصر تضعیف‌کننده بارش، رواناب رودها و جزرومد هستند.

۵- باد دارای دو اثر متضاد و دما نیز دارای دو اثر متضاد و فصلی بر جریان گرانی خروجی از خلیج فارس می‌باشند. بعلاوه مواد آلاینده محیطی بسته به وزن ویژه‌شان دارای دو اثر متضاد بر جریان گرانی خروجی از خلیج فارس هستند.

۶- با فرض عدم انتقال جرم در خلیج فارس یعنی عدم ورود و خروج آب از طریق گردش به خلیج فارس، شوری خلیج فارس توسط تبخیر سالانه حدود (psu) ۲/۲۰ افزایش، بارش سالانه حدود (psu) ۰/۰۷ کاهش و رواناب سالانه رودها حدود (psu) ۰/۵ کاهش می‌یابد. شوری خلیج فارس با احتساب میزان سالانه تبخیر، بارش و رواناب رودها حدود (psu) ۱/۶ افزایش می‌یابد.

- 1-Gravity Current
- 2- Non-hemogen
- 3- Bonapart's Tongue
- 4-Exchange
- 5-Sverdrup (Sv),  $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- 6-Shamal
- 7-Shakki
- 8- (ITCZ =The Intertropical Convergence Zone) is an area of low pressure that forms where the Northeast Trade Winds meet the Southeast Trade Winds near the earth's equator
- 9-Trough
- 10-Monsoon
- 11-PSU=Practical Salinity Unit
- 12- 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.
- 13- Reduced Gravity
- 14-ROPME= Regional Organization for the Protection of the Marine Environment
- 15-Thermocline is a layer within a body of water where the temperature changes rapidly with depth
- 16-IO SW= Indian Ocean Surface Water
- 17-Coefficient of thermal expansion
- 18-Coefficient of salinity expansion

**منابع مورد استفاده**

جعفریان ابیانه، ف. ۱۳۷۲. تأثیر پارامترهای هواشناسی بر جریان گرانی در خلیج فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد مؤسسه ژئوفیزیک-.

Bitan A. ., Sa'aroni, H.. 1992. The horizontal and vertical extension of the Persian gulf pressure trough, *International Journal of Climatology*, vol. 12, pp. 733-747.

Bowers, D.G. ., Lennon, G.W .1987. Observations of Stratified flow over a bottom Gradient in a coastal sea. *Continental Shelf Research*, vol.7, No. 9, pp. 1105-1121.

Chao S.Y., Kao , T.W., Hajri, K.R. 1992. A numerical Investigation of circulation in the Persian Gulf. *J. Geophys. Res.*, 97 (C7),11219-11236.

Horton.C., et al .1994. SWAFS: Shallow water analysis and forecast system: Overview and status report, 53 pp., Naval Oceanographic Office, Stennis Space Center, MS.

Johns W.et al. 1999. Arabian Marginal Seas and Gulfs, University of Miami RSMAS Technical Report 2000-01.

Khaleghi Zavareh, H.1992. The development of non-linear barotropic model for the wind and the tide driven circulation in the Persian gulf, Department of Meteorology & Oceanography College of Science University of the Philippines.

Lennon G.W.,et al.1987. Gravity Currents and the release of salt from an inverse estuary. *Nature*, vol. 327, No. 6124, pp. 695-697.

Meshal A.H. , Hassan, H.M.1986. Evaporation from the coastal waters of the central part of the Gulf, *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 4(2) 649-655.

Oil Companies, Weather Co-ordination Scheme.1976. Handbook of the weather in the Gulf. IMCOS MARINE, LONDON.

Reynolds, R.M. 1993. Overview of Physical Oceanographic Measurements Taking during the Mt. Mitchell Cruise to the ROPME Sea Area – Regional organization for the marine environment ROPME, Kuwait. Brook-haven National Laboratory.

Sheppard C., Price, A. , Roberts,.C.1992. Marine Ecology of the Arabian Region, Academic Press, pp. 36-60.

Simpson, J.E. 1987. Gravity Currents,; In the Environment and the Laboratory. Ellis Harwood Limited.

Swift S.A., Bower A.S.2002. Formation and circulation of dense water in the Persian/ Arabian Gulf, Woods Hole Oceanographic Institution.