

# مطالعه جریان‌های بزرگ مقیاس در غرب خزر جنوبی با استفاده از داده‌های میدانی و ماهواره‌ای

مسعود ترابی آزاد<sup>۱</sup> کامران لاری<sup>۲</sup>  
فرامرز روستایی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۶/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۸/۸

\*\*\*\*\*

## چکیده

در این تحقیق با استفاده از داده‌های میدانی دما، شوری و چگالی دریای خزر در ایستگاه‌های نزدیک غرب خزر جنوبی، مربوط به دو گشت میدانی، به بررسی جریان‌های بزرگ مقیاس پرداخته شده است. جریان ژئوستروفیک بدلیل تعادل نیروی گرادیان فشار و نیروی کوریولی ایجاد می‌گردد و عامل اصلی در ایجاد جریان‌های بزرگ مقیاس است. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، سرعت و جهت این نوع جریان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه گردید. این تصاویر از ماهواره **Aviso** با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه استخراج شد. محاسبات برای پنج مقطع عمودی در ناحیه غرب خزر جنوبی با استفاده از نرم افزار **Excel** انجام گردید و نیمرخ عمقی سرعت جریانات ژئوستروفیک در هر یک از این مقاطع بدست آمد. در ناحیه جنوب غرب خزر، متوسط اندازه سرعت این جریان‌ها برای داده‌های میدانی در فصل تابستان ۵/۸۵ سانتی‌متر بر ثانیه و در فصل زمستان ۱۵ سانتی‌متر بر ثانیه محاسبه شده است. همچنین جهت این جریان‌ها بطور متوسط در فصل تابستان ۲۸۵ درجه و در فصل زمستان ۴۴ درجه به دست آمده است. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای در تابستان جریان‌های پادساعتگرد تا سرعت‌های ۴/۵ سانتی‌متر بر ثانیه و در زمستان جریان‌های شرق سو و پادساعتگرد با سرعت‌های تا ۸ سانتی‌متر بر ثانیه مشاهده می‌شود. اندازه سرعت جریان‌ها (بزرگی بردارها) نشان دهنده این است که در زمستان متوسط سرعت جریان‌ها بیشتر است، که از دلایل آن می‌توان به اختلاف چگالی که به علت افزایش دبی رودخانه‌ها (خصوصاً ولگا)، بارش، وزش باد و ... حاصل می‌شود، اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: جریان ژئوستروفیک، اختلاف چگالی، آب دو لایه، فصل مشترک دو لایه، داده‌های ماهواره‌ای

\*\*\*\*\*

۱- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال (عهده دار مکاتبات) torabi\_us@yahoo.com

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال k\_lary@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران

۱- مقدمه

(Andrey G. Kostianoy and A. N. Kosarev, 2005) اما دریای خزر نیز از

این مطالعات جدا نبوده و مورد توجه بسیاری از محققان و حتی مردم عادی و کسانی که دور از آن هستند، بوده است. دلایل این توجه را می‌توان در چند خصوصیت مهم جستجو کرد: الف) وضعیت جغرافیایی اطراف آن، مخصوصاً بعد از فروپاشی شوروی سابق.

ب) پیشرفت و سرعت گرفتن فعالیت‌های نفتی در این حوزه. پ) تغییرات زیاد و سریع بسیاری از حلقه‌های اکوسیستم خزر به صورت طبیعی و صنعتی (ناشی از فعالیت‌های انسانی). ت) جنبه گردشگری و توریسم.

ث) اینکه بزرگترین دریاچه (حوضه‌های آبی بسته) جهان است و ویژگی‌های خاص دیگری از جمله وسعت، عمق، ترکیبات شیمیایی، ساختار ترموهالاینی، گردش آب آن،... منحصر به فرد است.

دریای خزر به واسطه تغییرات چرخه‌ای، جریانات و دامنه وسیع تراز آب در مقیاس‌های زمانی متفاوت توصیف می‌شود. براساس تحقیقات مختلف، از عوامل مهمی که در نوسانات چرخه‌های آب این دریا تأثیر زیادی دارد می‌توان به ورود آب از طریق رودخانه ولگا، تبخیر از سطح، فعالیت‌های انسانی، میزان بارش و... اشاره کرد که از این میان، تبخیر و رودخانه ولگان نقش مهم‌تری نسبت به سایر عوامل دارند. (S. A. Lebedev and A. G. Kostianoy, 2008). اهداف این تحقیق عبارتند از:

الف- تعیین توزیع چگالی با عمق در آب‌های دور از ساحل بندر انزلی.

ب- محاسبه سرعت و جهت جریان ژئوستروفیک بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده.

ج- مقایسه نتایج با داده‌های ماهواره‌ای از سرعت و جهت جریان ژئوستروفیک.

فدوی حسینی و همکاران در بررسی گردش سه بعدی جریانات خزر، سرعت جریان را بین ۰/۱ تا ۱/۳ متر بر ثانیه به دست آوردند. در این تحقیق از یک مدل سه بعدی متغیر در جهت عمودی و اطلاعات میدانی برداشت شده از ۱۳ ایستگاه میدانی استفاده شده است. (فدوی حسینی، ۱۳۸۱) نسیمی و غیائی

پایش منظم و جهانی حوزه‌های آبی بزرگ جهان یکی از اهداف اساسی مجامع علمی بین‌المللی است. این امر با اطلاعات دیداری و بعدها با استفاده از وسایلی از قبیل نصب بویه‌ها، شاخص‌ها، جریان سنج‌ها و ... در سطح و عمق آب‌ها انجام شده و می‌شود. اما در سال‌های اخیر گرایش کمتری نسبت به استفاده از داده‌های زمینی به دلیل صرف هزینه و وقت زیاد و مشکلات نمونه برداری پیدا شده است. بیش از ۱۰ سال است که استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، به عنوان ابزاری موفقیت‌آمیز جهت پایش تغییرات تراز و جریانات آب در ارزیابی آب‌های سطح قاره‌ای مانند دریاهای درون قاره‌ای، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و اخیراً مناطق تالابی شناخته می‌شود. (مدد، ۱۳۷۵)

بر اساس مطالعات سال‌های اخیر، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، به منظور تحلیل تغییرپذیری بین سالی و فصلی تراز و جریان آب توصیه شده است. در واقع دقت مکانی- زمانی داده‌های ماهواره‌ای امکان بررسی صحیح‌تری از تغییرات و جابجایی آب سالانه و فصلی مجموعه‌های آبی را فراهم می‌کند. از طرف دیگر این اطلاعات، ما را قادر می‌سازد تا برخی از پارامترهای ضروری جهت محاسبه مقدار تبخیر، سرعت باد، سرعت جریان و بررسی تغییرات تراز آب را در دوره‌های زمانی مختلف به دست آوریم. (Andrey G. Kostianoy and A. N. Kosarev, 2005) هر چند هدف اولیه ماهواره‌های اقیانوس‌شناسی و هواشناسی مطالعه تغییرات پارامترهای مربوطه در دریاهای باز بوده، اما در عین حال این روش به طور موفقیت‌آمیزی برای حوضه‌های آبی و دریاهای بسته نیز به کار گرفته شده است. تأثیرات ناشی از جریان آب در برخی موارد بسیار قابل توجه بوده و نیازمند مطالعات علمی متفاوتی جهت ارزیابی نحوه حرکات و تأثیرات نوسان تراز آب بر شرایط زیست محیطی منطقه است.

به عنوان مثال، مناطق ساحلی و دلتاها شدیداً تحت تأثیر تغییرات سطح آب و جریانات کوچک و بزرگ هستند که این امر موجب تخریب‌های شدید اکولوژیکی در آنها شده است. به طوری که این حوادث منجر به مطالعات بیشتری در زمینه ارتباط بین تغییرات سطح و جریان آب و تأثیرات بالقوه آن شده است.

جریان‌ات ژئوستروفیک در شمال دریای آدریاتیک، در سواحل شرقی ایتالیا، در ۳ مقطع پرداختند. با محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک در مقاطع عرضی، امکان تعیین دبی ماهانه سیال در منطقه فراهم گردید. (G.Federica and et al, 2005)

## ۲- روش انجام تحقیق

در این تحقیق، با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در دریای خزر، اقدام به استخراج مشخصات جریان ژئوستروفیک، در محدوده غربی خزر جنوبی شده است. جریان ژئوستروفیک بدلیل تعادل نیروی گرادیان فشار و نیروی کوریولی ایجاد می‌گردد و عامل اصلی در ایجاد جریان‌های بزرگ مقیاس است. پس از بررسی‌های اولیه بر روی اندازه‌گیری‌های میدانی و انجام تصحیحات لازم بر روی این داده‌ها، چگالی نسبی در نقاط مختلف در محدوده مورد نظر و لایه‌بندی عمق آب در این محدوده به دست آمد، سپس جهت و اندازه سرعت جریان ژئوستروفیک محاسبه گردید. (جدول ۱) (کوستو فرانس، ۲۰۰۰، توژلیکین و.س. کاسارف، ۲۰۰۲) جهت محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک در محدوده بندر انزلی، ابتدا می‌بایست نقاط مرتبط با این منطقه از میان تمامی نقاط اندازه‌گیری‌های میدانی استخراج می‌گردید. پس از بررسی نقاط مختلف، ۷ نقطه که کمترین نقص را از نظر صحت اطلاعات و کامل بودن داده‌ها دارا بودند به عنوان نقاط منتخب انتخاب شدند (نگاره ۱).



نگاره ۱: ایستگاه‌های میدانی منتخب در غرب خزر جنوبی

اطلاعات میدانی در این نقاط نیز در عمق‌های خاص موجود بودند، به طور مثال در نقطه 108 Sta. 2001 تنها تا عمق ۲۰ متری اطلاعات مربوط به دما و شوری موجود می‌باشد که

در تحقیقی تحت عنوان مدل سه بعدی گردش آب و ساختار دما در دریای خزر به مطالعات ساختار چگالی و توزیع جریان در دریای خزر پرداختند. سرعت جریان محاسبه شده از ۱/۶ تا ۱۵ سانتیمتر بر ثانیه متغیر می‌باشد که بیشترین مقدار سرعت در ناحیه میانی به ازای سرعت باد حداکثر ۷ متر بر ثانیه گزارش شده است. (نسیمی و غیائی، ۱۳۸۵) ایبرایو و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل برهمکنش نیروهای هیدروستاتیکی هوا - دریا برای شبیه‌سازی تغییرات سالیانه گردش آب دریای خزر و نوسان سطح آن ارائه کردند. عدم تقارن دمایی غرب به شرق که در تابستان و زمستان عکس می‌شود، در پاسخ به تغییرات فراجوشی ساحلی و دینامیک اختلاط و عدم تقارن در توزیع شوری بعلت ورودی آب شیرین رودخانه‌ها است. (Ibrayev.R.A, and et al, 2009) شربتی (۲۰۱۲) یک مدل سه‌بعدی برای الگوی جریان‌های ناشی از باد با استفاده از نرم‌افزار مایک ۳ ارائه نموده است. نتایج این مدل در حالت مانا با نتایج مدل POM (مدل اقیانوسی دانشگاه پرینستون) مورد مقایسه قرار گرفتند. در مناطق ساحلی خزر جنوبی عمق‌های کمتر از ۳۵ متر اغلب جریان‌های ناشی از باد در امتداد ساحل و از سمت شمال به طرف جنوب هستند. (Sharbaty.S, 2012)

زاهدی و ترابی آزاد مدلی برای جریان شبه زمین گرد در خلیج فارس ارائه نمودند. بر اساس نتایج این تحقیق تغییرات جریان‌های شبه ژئوستروفیک (زمین گرد وار) برای خلیج فارس محاسبه شده است. (زاهدی و ترابی آزاد، ۱۳۸۳) وفائیان و همکاران مدل عددی POM برای مطالعه جریان چگال ورودی به حوضه خزر جنوبی را براساس مختصات سیگما اجرا کردند. (وفائیان و همکاران، ۱۳۸۵) Padilla و همکارانش در تحقیقی جریان‌ات ژئوستروفیک و هیدروگرافی منطقه شمال خلیج کالیفرنیا را بررسی نمودند. با استفاده از اطلاعات میدانی بدست آمده از دستگاه CTD، در سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ و در زمان وقوع پدیده النینو، اقدام به محاسبه جریان‌ات ژئوستروفیک در مقطعی از این منطقه پرداختند. تغییرات فصلی جریان‌ات در لایه‌های مختلف، علی‌الخصوص در لایه‌های نزدیک به بستر، به وقوع النینو در این منطقه مرتبط گردید. در سال ۲۰۰۵، F. Grilli و همکارانش اقدام به تجزیه و تحلیل گردش آب‌ها و

جدول ۱: زمان و مشخصات گشت‌های تحقیقاتی دریای خزر

منطقه تحت پوشش	تاریخ خاتمه گشت (شمسی)	تاریخ شروع گشت (شمسی)	تاریخ خاتمه گشت (میلادی)	تاریخ شروع گشت (میلادی)	گشت تحقیقاتی
نواحی غربی کل دریای خزر	۱۳۷۹/۰۸/۰۴	۱۳۷۹/۰۷/۲۰	۲۰۰۰/۱۱/۰۴	۲۰۰۰/۱۰/۱۱	گشت تحقیقاتی ۲۰۰۰
خزر جنوبی و نواحی شرقی خزر میانی	۱۳۸۰/۰۱/۰۱	۱۳۷۹/۱۲/۲۵	۲۰۰۱/۰۳/۲۱	۲۰۰۱/۰۳/۱۵	گشت تحقیقاتی ۲۰۰۱
خزر شمالی	۱۳۸۰/۰۷/۰۵	۱۳۸۰/۰۶/۳۰	۲۰۰۱/۰۹/۲۷	۲۰۰۱/۰۹/۲۱	
خزر جنوبی، میانی و خزر شمالی	۱۳۷۴/۷/۵	۱۳۷۴/۶/۲۱	۱۹۹۶/۰۹/۲۷	۱۹۹۶/۰۹/۱۲	گشت تحقیقاتی کشتی Alif Hajief; 1996

جدول ۲: موقعیت جغرافیایی نقاط منتخب

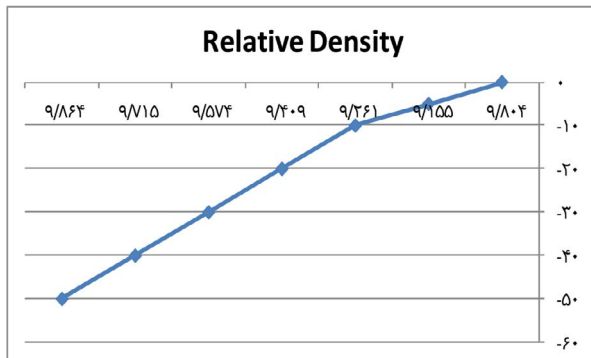
شماره	نام نقطه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)
1	1G	50° 41 - 31.80"	37° 32 - 58.20"
2	2G	50° 52 - 22.80"	38° 10 - 19.20"
3	3G	50° 45 - 04.20"	38° 57 - 16.80"
4	108 Sta. 2001	49° 10 - 24.17"	37° 49 - 28.85"
5	85 Sta. 2001	49° 26 - 08.34"	37° 52 - 56.82"
6	71 Sta. 2001	49° 55 - 20.64"	37° 31 - 19.99"
7	74 Sta. 2001	50° 11 - 30.48"	37° 26 - 47.04"

جدول ۳: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه 108 sta.2001

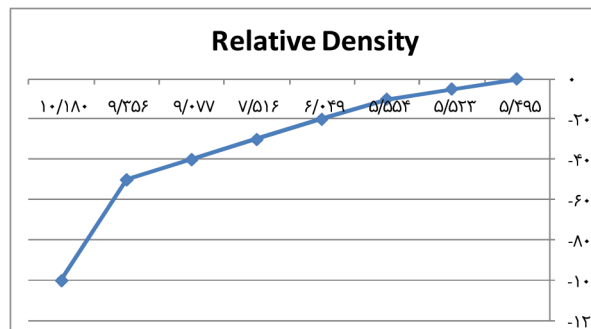
Depth (m)	Temperature (°c)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m3)
0	11.383	9.280	6.775
5	11.004	9.330	6.885
10	10.836	9.380	6.968
20	10.377	9.480	7.147

جدول ۴: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه 85 sta.2001

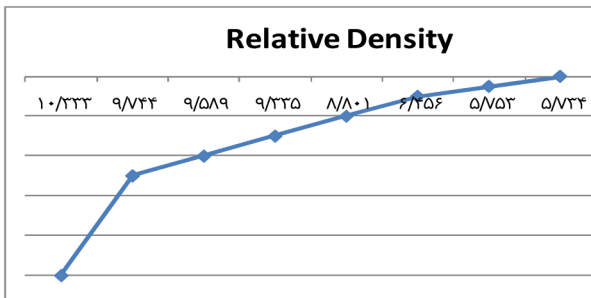
Depth (m)	Temperature (°c)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	11.127	8.860	6.482
5	10.604	8.940	6.631
10	10.502	8.980	6.674
20	10.205	9.050	6.834
30	10.254	9.090	6.906
40	10.057	9.190	7.053
50	10.026	9.250	7.103



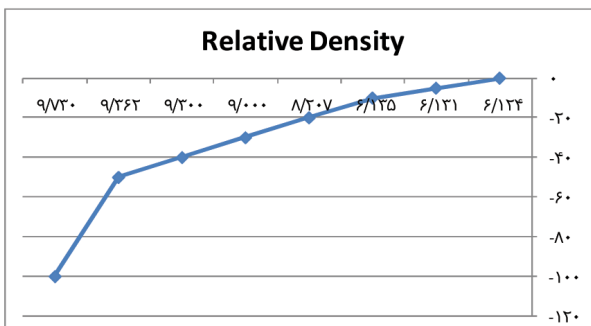
نگاره ۵: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 74  
Sta. 2001



نگاره ۶: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 108



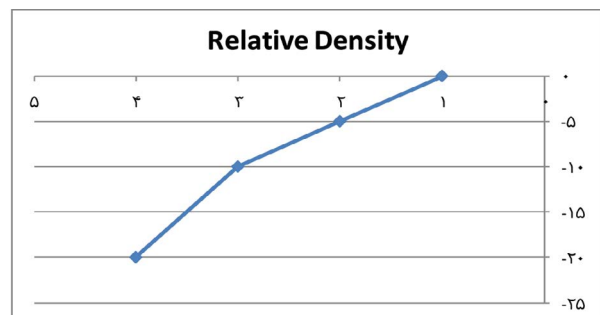
نگاره ۷: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 2G



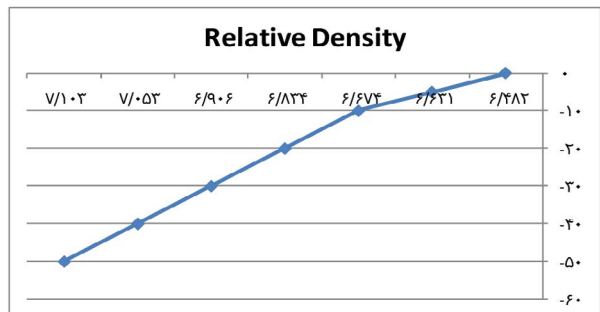
نگاره ۸: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 3G

این مساله محدودیت‌هایی را ایجاد می‌نماید. طول و عرض جغرافیایی نقاط منتخب در جدول ۲ قابل مشاهده هستند.

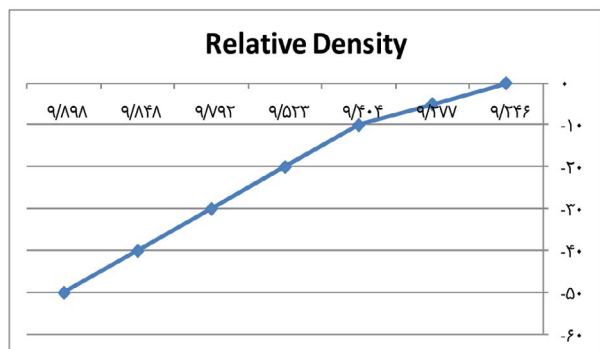
۲-۱- جداول و نمودارهای مربوط به هر ایستگاه مقادیر دما و شوری و عمق برای هر یک از این ۷ نقطه منتخب توسط دستگاه CTD اندازه‌گیری شده است. مقادیر عمقی تغییرات دما و شوری هر یک از این نقاط در جداول ۳ تا ۹ و نیمرخ چگالی نسبی آنها در نگاره‌های ۲ تا ۸ آمده است.



نگاره ۲: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 108  
Sta. 2001



نگاره ۳: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 85  
Sta. 2001



نگاره ۴: نیمرخ عمقی تغییرات چگالی نسبی در ایستگاه 71  
Sta. 2001

جدول ۵: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه 71 Sta. 2001

Depth (m)	Temperature (°c)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	11.130	12.420	9.246
5	11.071	12.420	9.277
10	10.506	12.470	9.404
20	10.115	12.500	9.523
30	8.999	12.620	9.792
40	8.912	12.620	9.848
50	8.882	12.620	9.898

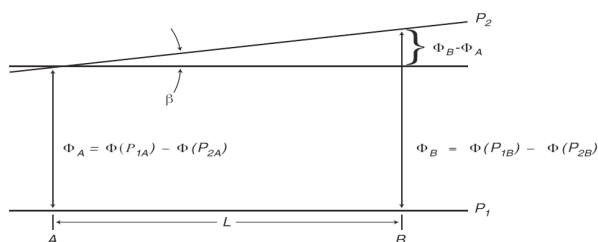
جدول ۶: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه 74 Sta. 2001

Depth (m)	Temperature (°c)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	11.297	12.250	9.084
5	11.059	12.270	9.155
10	10.717	12.320	9.261
20	10.344	12.390	9.409
30	9.754	12.450	9.574
40	9.199	12.490	9.715
50	8.539	12.530	9.864

جدول ۷: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه 1G

Depth (m)	Temperature (°c)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	27.583	12.239	5.495
5	27.565	12.239	5.523
10	27.548	12.245	5.554
20	25.580	12.091	6.049
30	20.000	12.100	7.516
40	12.000	12.127	9.077
50	10.457	12.159	9.356
100	7.562	12.510	10.180

میانگین انحراف از حجم ویژه استاندارد در ضخامت هر لایه بر حسب دسی بار می باشد. بنابراین آخرین ستون از این جدول مقدار انحراف ژئوپتانسیل، محاسبه شده توسط معادله  $\Delta\phi_A = \int_{P_{1A}}^{P_{2A}} \delta dP$ ، انتگرال گیری شده از  $\delta dP$  از سطح P1 (انتهای هر لایه) تا P2 (نگاره ۹) در ابتدای همان لایه می باشد (Stewart, 2008 and Pond, Pickard, 2009)



نگاره ۹: طرحی ساده برای محاسبه جریان ژئوستروفیک

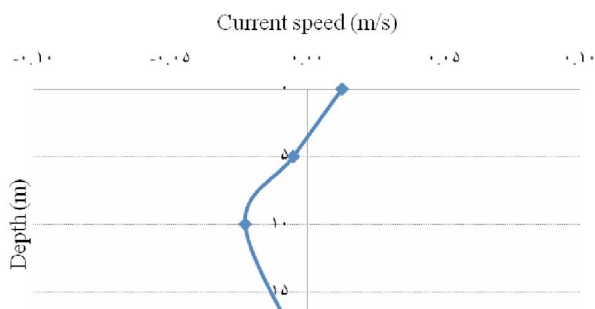
پس از محاسبه مقادیر فوق برای نقاط 1G و 2G، ارائه شده در جدول ۱۰ و ۱۱، سرعت جریان ژئوستروفیک در مقطع 1G-2G محاسبه شد. فاصله بین دو ایستگاه (L) ۷۰۰۵۴ متر بدست آمد. همچنین متوسط پارامتر کوریولی برای این دو نقطه برابر با  $f = 0.89259 \times 10^{-4} (1/S)$  محاسبه شد. بنابراین مقدار عکس مخرج معادله  $v = \frac{\Delta\phi_B - \Delta\phi_A}{2\Omega L \sin\phi}$ ، برابر با ۰/۱۵۹۹۲۴۵۱۶ (m/s) می شود. این عدد جهت محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک در مقطع 1G-2G در جدول ۱۲ استفاده شده است. مقادیر نسبی سرعت جریان ژئوستروفیک در این مقطع در جدول ۱۲ ارائه شده است. (Stewart, 2008)

## ۲-۲- محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک در محدوده بندر انزلی

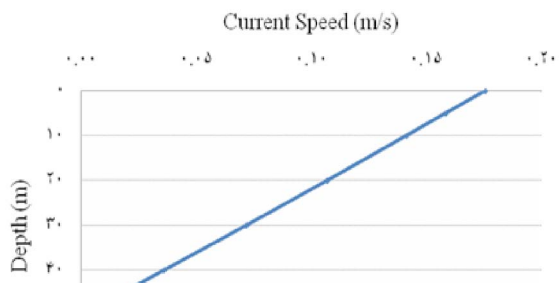
در این قسمت به شرح چگونگی محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک در منطقه مورد مطالعه در یکی از مقاطع، مقطع 1G-2G، پرداخته می شود. پس از تصحیح و مرتب سازی داده های مربوط به شوری و دما و عمق اقدام به استخراج چگالی نسبی با استفاده از این مقادیر در اعماق استاندارد مشخص شده گردید. این مقادیر برای ایستگاه 1G در جدول ۱۰ آورده شده است. ستون چهارم از این جدول چگالی نسبی آب دریا در ایستگاه 1G عمق مربوطه را نشان می دهد. همانطور که می دانید چگالی آب دریا در هر نقطه تابعی از دما، شوری و عمق آن نقطه می باشد. روابط مختلفی برای به دست آوردن چگالی از مقادیر دما و شوری ارائه شده است. در این تحقیق به منظور استخراج نیمرخ عمقی چگالی در هریک از نقاط، از نرم افزار Datalog استفاده شده است. با استفاده از این نرم افزار و انتخاب فرمول مناسب، چگالی نسبی در آن نقاط بدست آمده است. انحراف از حجم ویژه استاندارد  $\delta(s,t,p)$ ، مقادیر ستون پنجم از جدول ۱۰، با استفاده از مقادیر دما، شوری، فشار و همچنین مقادیر چگالی نسبی محاسبه شده اند. ستون ششم از جدول مذکور، مقادیر متوسط انحراف از حجم ویژه استاندارد را در عمق های مشخص شده نشان می دهند. ستون آخر از این جدول  $(\Delta\Phi)$ ، حاصل ضرب

جدول ۸: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه گیری های میدانی در ایستگاه 2G

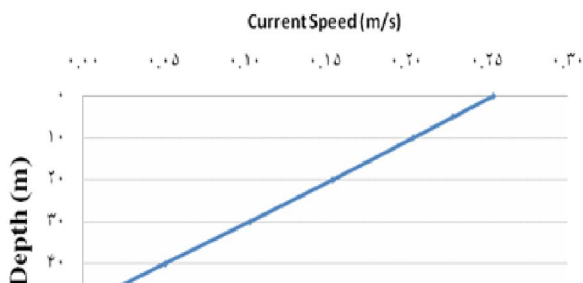
Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	26.893	12.288	5.734
5	26.905	12.288	5.753
10	23.905	12.087	6.456
20	13.060	12.095	8.801
30	10.000	12.180	9.335
40	9.000	12.300	9.589
50	8.712	12.399	9.744
100	7.014	12.644	10.333



نگاره ۱۱: نمودار تغییرات سرعت جریان ژئوستروفیک با عمق در مقطع ۱۰۸-۷۱ (مقطع شماره ۱)



نگاره ۱۲: نمودار تغییرات سرعت جریان ژئوستروفیک با عمق در مقطع ۸۵-۷۴ (مقطع شماره ۲)



نگاره ۱۳: نمودار تغییرات سرعت جریان ژئوستروفیک با عمق در مقطع ۸۵-۷۱ (مقطع شماره ۳)

محاسبات این مراحل برای هر یک از ۵ مقطع در نظر گرفته شده با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید و نیمرخ عمقی سرعت جریان ژئوستروفیک در هر یک از این مقاطع بدست آمد.

### ۳- نتایج

با استفاده از روش ارائه شده در فوق، مقادیر نسبی سرعت جریان ژئوستروفیک در ۵ مقطع، در منطقه غرب خزر جنوبی (بندر انزلی)، محاسبه گردید. موقعیت این ۵ مقطع را در نگاره ۱۰ مشاهده می نمایید. روند تغییرات سرعت جریان ژئوستروفیک با عمق در مقطع های مختلف در نگاره های ۱۱ تا ۱۵ آورده شده است. چگالی نسبی سطحی در ۷ ایستگاه نگاره ۱۰ در جدول ۱۳ ارائه شده است.



نگاره ۱۰: موقعیت ۵ مقطع در نظر گرفته شده جهت محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک

جدول ۹: مقادیر دما، شوری و چگالی نسبی بدست آمده از اندازه گیری های میدانی در ایستگاه 3G

Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (PSU)	Relative Density (kg/m <sup>3</sup> )
0	26.292	12.337	6.124
5	26.247	12.33	6.131
10	26.235	12.330	6.135
20	16.544	12.172	8.207
30	12.000	12.200	9.000
40	10.200	12.260	9.300
50	9.609	12.326	9.362
100	7.729	12.554	9.73



جدول ۱۰: محاسبه جریان ژئوستروفیک، اطلاعات گرفته شده از گشت دریایی Alif Hajief، ایستگاه 1G  
(9 Jan 1996 to 9 Jun 1996)

Pressure decibar	t (°c)	S(psu)	$\sigma(s,t,p)$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta(s,t,p)$ 10 <sup>-7</sup> kg/m <sup>3</sup>	$\langle \delta \rangle$ 10 <sup>-7</sup> kg/m <sup>3</sup>	$\Delta \phi$ m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
0	27.583	12.239	5.497	218.707		
					218.682	1.09341
5	27.565	12.239	5.525	218.657		
					218.617	1.09309
10	27.548	12.245	5.556	218.578		
					216.358	2.16358
20	25.580	12.091	6.051	214.139		
					207.129	2.07129
30	20.000	12.100	7.517	200.120		
					192.675	1.92675
40	12.000	12.127	9.077	185.230		
					184.077	1.84077
50	10.457	12.159	9.357	182.925		
					180.014	1.80014
100	7.562	12.510	10.180	177.104		

جدول ۱۱: محاسبه جریان ژئوستروفیک، اطلاعات گرفته شده از گشت دریایی Alif Hajief، ایستگاه 2G  
(9 Jan 1996 to 9 Jun 1996)

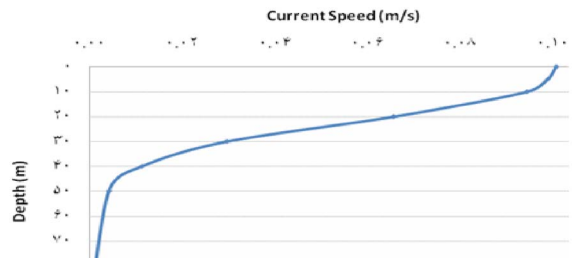
Pressure decibar	t (°c)	S(psu)	$\sigma(s,t,p)$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta(s,t,p)$ 10 <sup>-7</sup> kg/m <sup>3</sup>	$\langle \delta \rangle$ 10 <sup>-7</sup> kg/m <sup>3</sup>	$\Delta \Phi$ m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
0	26.893	12.288	5.736	216.344		
					216.363	1.08182
5	26.905	12.288	5.755	216.383		
					213.029	1.06514
10	23.905	12.087	6.457	209.675		
					198.354	1.98354
20	13.060	12.095	8.802	187.033		
					184.638	1.84638
30	10.001	12.180	9.335	182.243		
					181.223	1.81223
40	9.000	12.300	9.589	180.204		
					179.666	1.79666
50	8.712	12.399	9.744	179.128		
					177.366	1.77366
100	7.014	12.644	10.333	175.604		

۳-۱- روند تغییرات جریان ژئوستروفیک در سطح،  
 در ۵ نقطه محدوده بندر انزلی

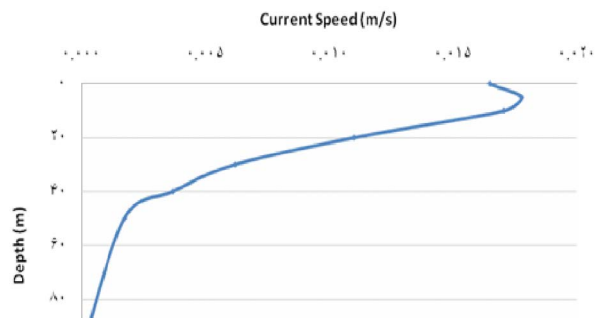
در این تحقیق سرعت و جهت جریانات ژئوستروفیک در سطح در ۵ نقطه در منطقه مورد مطالعه بدست آمده است. محل قرارگیری نقاط را در نگاره ۱۶ و مکان و مشخصات سرعتها در جدول ۱۴ ارائه شده است.



نگاره ۱۶: نقاط تعیین شده جهت محاسبه سرعت سطحی جریانات ژئوستروفیک



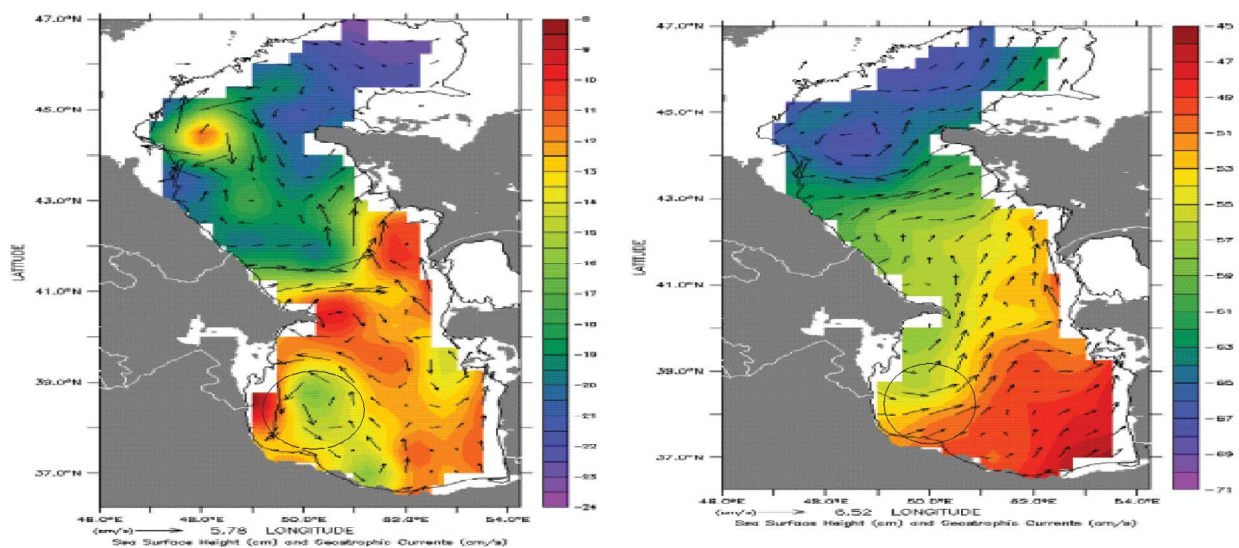
نگاره ۱۴: نمودار تغییرات سرعت جریان ژئوستروفیک با عمق در مقطع 1G-2G (مقطع شماره ۴)



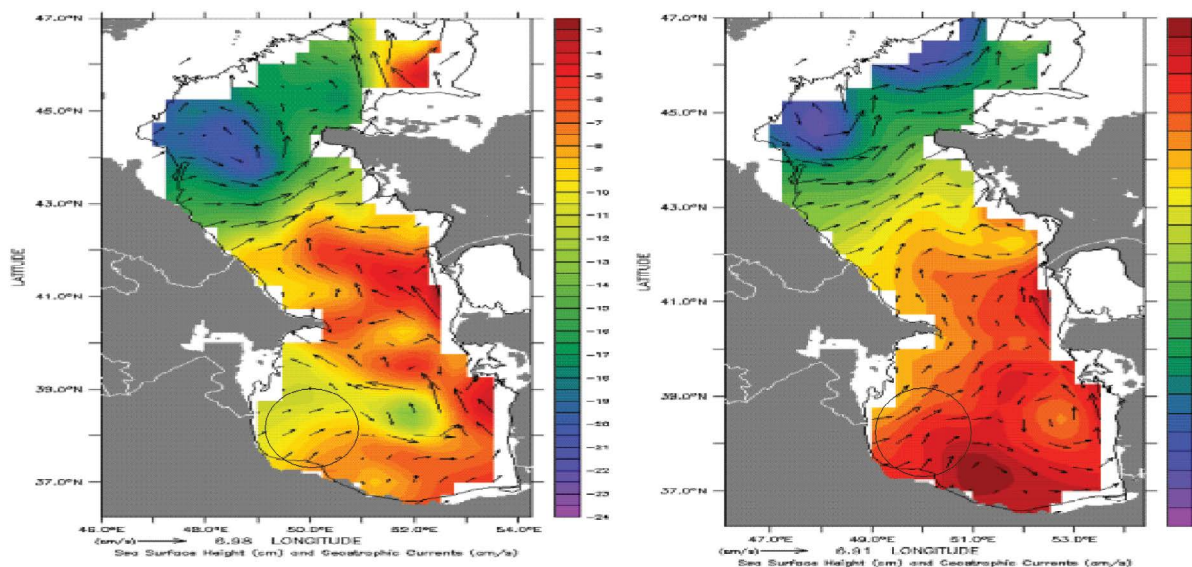
نگاره ۱۵: نمودار تغییرات سرعت جریان ژئوستروفیک با عمق در مقطع 2G-3G (مقطع شماره ۵)

جدول ۱۲: محاسبه سرعت جریان ژئوستروفیک، اطلاعات گرفته شده از گشت دریایی Alif Hajief ایستگاه ۱G و ۲G

Pressure decibar	$\Delta \Phi_{1G}$ $m^2s^{-2}$	$\Sigma \Delta \Phi$ at 1G	$\Delta \Phi_{2G}$ $m^2s^{-2}$	$\Sigma \Delta \Phi$ at 2G	V m/s
0		11.98904		11.35943	0.100760
5	1.09341	10.89562	1.08182	10.27761	0.098905
10	1.09309	9.80254	1.06514	9.21247	0.094433
20	2.16358	7.63896	1.98354	7.22893	0.065619
30	2.07129	5.56766	1.84638	5.38255	0.029625
40	1.92675	3.64092	1.81223	3.57032	0.011298
50	1.84077	1.80014	1.79666	1.77366	0.004238
100	1.80014	0	1.77366	0	0.00000



نگاره ۱۷: ارتفاع سطح آب و سرعت جریان‌ات ژئوستروفیک گرفته شده از ماهواره **Aviso** در ماه فوریه برای سال‌های ۱۹۹۶ (چپ) و ۲۰۰۱ (راست)



نگاره ۱۸: ارتفاع سطح آب و سرعت جریان‌ات ژئوستروفیک گرفته شده از ماهواره **Aviso** در ماه می برای سال‌های ۱۹۹۶ (چپ) و ۲۰۰۱ (راست)

کیلومتر) گرفته شده‌اند (نگاره‌های ۱۷ تا ۲۰).  
در این تصاویر با توجه به شاخص رنگی کنار آن اختلاف ارتفاع سطح آب (SSh) در نقاط مختلف دریای خزر ارائه شده است.  
براساس شیب سطح دریا اندازه و جهت جریان‌های ژئوستروفیک محاسبه شده است. جریانی که در جهت

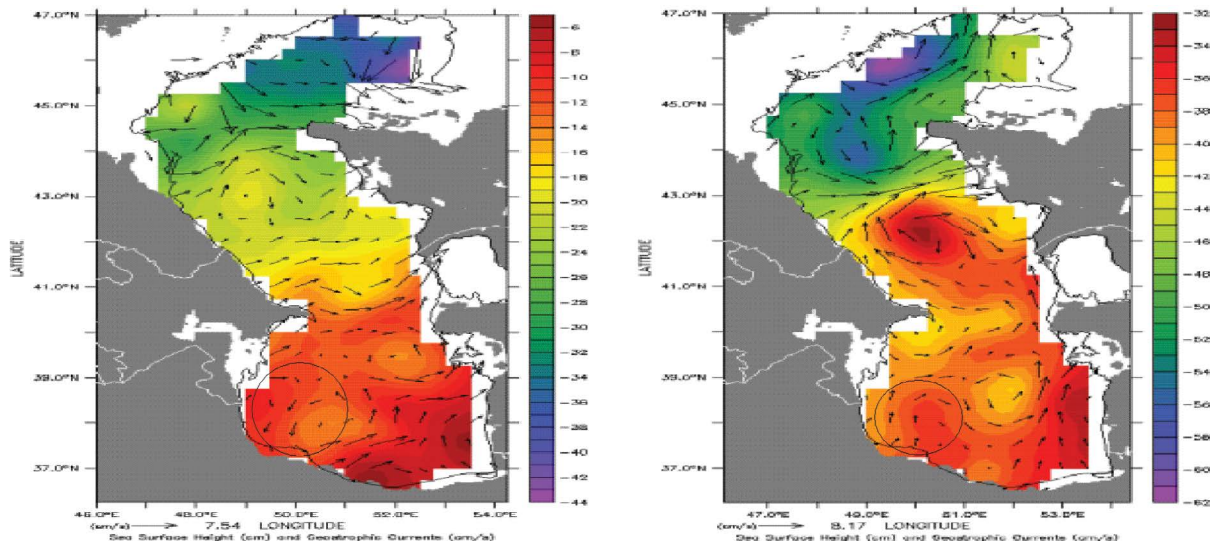
۲-۳- داده‌های ماهواره‌ای  
به منظور تعیین و مقایسه زمانی و مکانی سرعت جریان‌ات ژئوستروفیک در منطقه بندر انزلی در دریای خزر تصاویر ماهواره‌ای متعددی از آن منطقه در چهار فصل و برای دو سال مختلف ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ استخراج شد. این تصاویر از ماهواره **Aviso** با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه (تقریباً ۲۸

جدول ۱۳: چگالی نسبی سطحی ( $kg / m^3$ ) در ۷ ایستگاه نگاره ۱۰

ایستگاه	71 Sta2001	74 Sta2001	85 Sta2001	108 Sta2001	1G	2G	3G
چگالی نسبی	۸۲۳/۹	۰۸۴/۹	۴۸۲/۶	۷۷۵/۶	۴۹۷/۵	۷۳۶/۵	۹۴۵/۵

جدول ۱۴: مکان و مشخصات جریانات ژئوستروفیک در ۵ نقطه مورد نظراز نگاره ۱۶

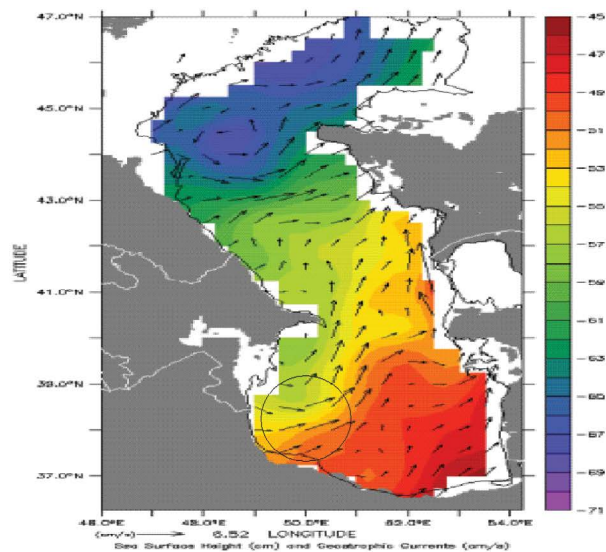
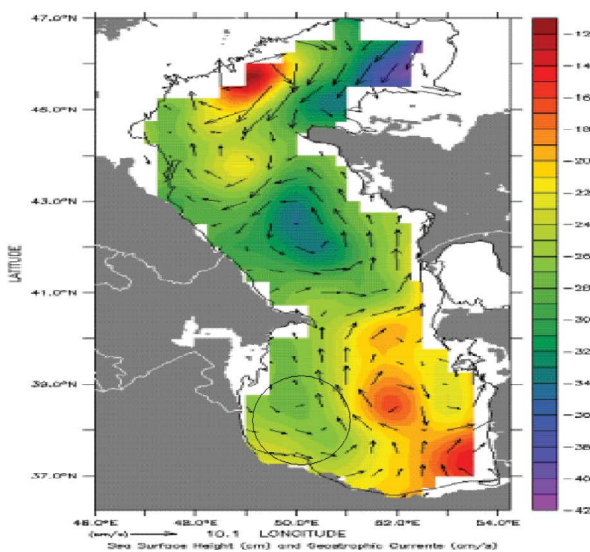
جهت سرعت (degree)	اندازه سرعت (cm/s)	طول و عرض جغرافیایی		شماره مقطع
		(N)	(E)	
۴۵	۱/۲۵۹۸	۳۷/۶۸۴۳۵۰	۴۹/۵۳۹۱۵۰	شماره ۱
۴۴	۱۷/۵	۳۷/۷۴۰۹۶۶	۵۰/۰۶۱۲۶۶	شماره ۲
۴۵	۲۶	۳۷/۶۹۸۳۳۳	۴۹/۸۰۷۹۱۶	شماره ۳
۳۰۰	۱۰/۰۷۶۰	۳۷/۹۱۴۳۱۶	۵۰/۷۸۴۵۳۳	شماره ۴
۲۶۹	۱/۶۴۷۳	۳۸/۶۶۹۳۸۳	۵۰/۷۸۹۷۸۳	شماره ۵



نگاره ۱۹: ارتفاع سطح آب و سرعت جریانات ژئوستروفیک گرفته شده از ماهواره Aviso در ماه آگوست برای سالهای ۱۹۹۶ (چپ) و ۲۰۰۱ (راست)

اختلاف سطح آب باید حرکت کند وقتی نیروی کوریولی به آن وارد می شود، در نیمکره شمالی به سمت راست انحراف می یابد، و جریان برآیند عمود بر آن (جهت اختلاف سطح آب) حرکت می نماید. همچنین با توجه به اندازه سرعت جریان ها (بزرگی بردارها) نشان دهنده این است که در زمستان متوسط سرعت جریان ها بیشتر است، که از دلایل آن می توان به اختلاف چگالی سطحی بیشتر در این فصل به علت بارش، وزش باد و ... اشاره نمود.





نگاره ۲۰: ارتفاع سطح آب و سرعت جریان‌ات ژئوستروفیک گرفته شده از ماهواره Aviso در ماه نوامبر برای سال‌های ۱۹۹۶ (چپ) و ۲۰۰۱ (راست)

می‌دهد. نگاره ۲۰ برای ماه نوامبر سال ۱۹۹۶ یک جریان ژئوستروفیک تقریباً شمال شرق سو با سرعت‌های از حدود ۴ تا ۶ سانتیمتر بر ثانیه و برای همین ماه از سال ۲۰۰۱ یک جریان تقریباً شرق سو با سرعت‌های از حدود ۱/۵ تا ۴ سانتیمتر بر ثانیه را ارائه می‌دهد. در ناحیه جنوب غرب خزر، اختلاف چگالی سطحی بین ایستگاه‌های نزدیک و دورتر از ساحل در حدود ۳/۳ کیلوگرم بر متر مکعب و اختلاف چگالی از سطح به عمق حدود ۵۰ متری تا ۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده می‌شود.

برای داده‌های میدانی جهت جریان بزرگ مقیاس در فصل تابستان حدود ۲۸۵ درجه و در فصل زمستان حدود ۴۴ درجه به دست آمده است. همچنین متوسط اندازه سرعت این جریان‌ها در فصل تابستان حدود ۵/۸۵ سانتیمتر بر ثانیه و در فصل زمستان حدود ۱۵ سانتیمتر بر ثانیه محاسبه شده است. همچنین توجه به اندازه سرعت جریان‌ها (بزرگی بردارها) نشان دهنده این است که در زمستان متوسط سرعت جریان‌ها بیشتر است، که از دلایل آن می‌توان به اختلاف چگالی که به علت افزایش دبی رودخانه‌ها (خصوصاً ولگا)، بارش، وزش باد و ... حاصل می‌شود، اشاره نمود.

#### ۴- بحث

در نگاره ۱۷ برای ماه فوریه سال ۱۹۹۶، یک جریان سیکلونی با سرعت‌های ۴ تا ۸ سانتیمتر بر ثانیه در سواحل جنوب غربی خزر مشخص است. در مقایسه با سال ۲۰۰۱ در همین ماه جریان ژئوستروفیک شرق سو با سرعت‌های از حدود ۳ تا ۶ سانتیمتر بر ثانیه مشخص شده است.

تغییر سرعت جریان ژئوستروفیک در این ماه تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارد اما تغییر در جهت جریان محسوس است. نگاره ۱۸ برای ماه می سال ۱۹۹۶ یک جریان ژئوستروفیک تقریباً شمال شرق سو با سرعت‌های از حدود ۳ تا ۳ سانتیمتر بر ثانیه مشخص است.

در همین ماه برای سال ۲۰۰۱ یک جریان تقریباً شمال شرق سو با سرعت‌های از حدود ۱/۵ تا ۴/۵ سانتیمتر بر ثانیه محاسبه شده است. تفاوت بین اندازه و جهت سرعت جریان ژئوستروفیک در طی این سال‌ها قابل ملاحظه نیست. نگاره ۱۹ برای ماه آگوست سال ۱۹۹۶ یک جریان ژئوستروفیک سیکلونی با سرعت‌های از حدود ۱/۵ تا ۴ سانتیمتر بر ثانیه و برای همین ماه در سال ۲۰۰۱ یک جریان آنتی سیکلونی با سرعت‌های از حدود ۱/۵ تا ۴/۵ سانتیمتر بر ثانیه را نشان

tions in the wind speed vector and the rate of evaporation from the Caspian Sea surface, Water Res 30, 177-185.

12- Pond .S. ,G. L Pickard, 2009, Introductory dynamical oceanography 2nd edition, pergamon press.

13- Robert H. Stewart, 2008, Introduction to Physical Oceanography, Department of Oceanography Texas A & M University.

14- Sergey A. Lebedev, and Andrey G. Kostianoy, 2008, Integrated Use of Satellite Altimetry in the Investigation of the Meteorological, Hydrological, and Hydrodynamic Regime of the Caspian Sea, Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 19, No. 1-2, 71-82.

15- Sharbaty. S, 2012, 3 - D Simulation of Wind - Induced Currents Using MIKE 3 HS Model in the Caspian Sea, Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine Vol.3 No.3.PP 45-54.

## ۵- منابع و مآخذ

۱- توژیلکین و.س.، کاسارف ان.، ۲۰۰۲، ساختار و تغییرات زمانی و مکانی ترموهالاین دریای خزر، مترجم: علی شمس فولادیری، وستنیک کاسپیا ۲۰۰۲ شماره ۳.

۲- زاهدی، ر.، ترابی آزاد، م.، ۱۳۸۳، مدلی برای جریان زمینگردوار در خلیج فارس، مجله علوم دریایی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، دوره چهارم، شماره اول و دوم، بهار و تابستان، ۳۳-۲۳.

۳- فدوی حسینی، ه.، ۱۳۷۸، مدل سه بعدی گردش در دریای خزر، پایان نامه دکترای فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

۴- کوست و فرانس، ۲۰۰۰، گزارش گشت تحقیقاتی دریایی انجمن کوستو(بخش هشتم)، مترجم: علی شمس فولادی، وستنیک کاسپیا شماره ۴ و ۵.

۵- مدد، م.، ۱۳۷۵، بررسی جامع علل بالا آمدن سطح آب دریای خزر، انتشارات سازمان بنادر و دریانوردی.

۶- نسیمی، س. و غیائی، ر.، ۱۳۸۵، مدل سه بعدی گردش آب و ساختار دما در دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۲.

۷- وفائیان، ف.، ۱۳۸۵، مطالعه جریان چگال ورودی به حوضه خزر جنوبی با استفاده از یک مدل عددی سه بعدی اقیانوسی، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

8-Andrey G. Kostianoy · Aleksey N. Kosarev, 2005, The Caspian Sea Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg , Germany.

9- Grilli, Federica; Paschini, Elio; Russo, Aniello; Precali, Robert; Supić, Nastjenjka., 2005, Circulation and horizontal fluxes in the Northern Adriatic Sea in the period June 1999-July 2002. Part I: geostrophic circulation and current measurement. Science of the total environment, 353 , 1-3; 57.

10- Ibrayev, R.A, Zsoy. E.O, Schrum.C. And Sur.H.I, 2009, Seasonal variability of the Caspian Sea three dimensional circulation, sea level and air-sea interaction, Ocean Science Discussion 6, 1913. 1970.

11- Panin. G.N. and Dzuyba. A.V, 2003, Current varia-