



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک دریا (M.Sc)

موضوع:

بررسی ارتباط بین دمای سطح دریا حاصل از داده‌های سنجنده AVHRR

از ماهواره‌ی NOAA و داده‌های حاصل از برداشت زمینی در خزر جنوبی

استاد راهنما

دکتر مسعود ترابی آزاد

استاد مشاور

مهندس احمد دالکی

نگارش

زهرة جلال زاده آذر

سال تحصیلی ۱۳۸۵

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک دریا (M.Sc)

موضوع:

بررسی ارتباط بین دمای سطح دریا حاصل از داده‌های سنجنده AVHRR از

ماهواره‌ی NOAA و داده‌های حاصل از برداشت زمینی در خزر جنوبی

استاد راهنما

دکتر مسعود ترابی آزاد

استاد مشاور

مهندس احمد دالکی

نگارش

زهره جلال زاده آذر

سال تحصیلی ۱۳۸۵

سپاسگزاری

بدین وسیله وظیفه‌ی خود می‌دانم مراتب امتنانم را از استادان راهنما و مشاور خود آقایان دکتر مسعود ترابی آزاد عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال و مهندس احمد دالکی استاد سنجش از دور و کاربرد ماهواره در دانشگاه شهید بهشتی اعلام دارم، بدیهی است که بدون کمک و همیاری این بزرگواران، آماده‌سازی چنین تحقیقی میسر نبود. از مدیر محترم گروه فیزیک دریا، جناب آقای دکتر بیدختی به پاس زحمات بی‌دریغشان در این سالها نهایت تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای مهندس عبدالرضا انصاری آملی کارشناس محترم سازمان فضایی ایران در زمینه‌ی ماهواره و سنجش از دور که کمکهای شایان توجه ایشان برای به نتیجه رسیدن این تحقیق بسیار شایسته بوده سپاسگزارم. ضمناً از آقای دکتر هوشنگ بصیر پارسا مشاوره محترم سازمان هواشناسی و آقای مهندس جاوید فومنی کارشناس محترم سازمان فضایی ایران که در پیشبرد اهداف این تحقیق کمک نموده‌اند قدردانی می‌نمایم. از خواهر عزیزم سرکار خانم زهرا جلال‌زاده که در ویراستاری و آماده‌سازی این مجموعه مرا یاری کردند نهایت امتنان خود را اعلام می‌دارم. از دوستان عزیزم خانمها آتینا کفیل‌زاده، رضوان سلامی ابیانه و فریبا وفاییان که در تهیه و تنظیم این تحقیق مرا تنها نگذاشتند کمال تشکر و سپاس را دارم و در نهایت از تمام کسانی که نامشان برده نشده و مرا در تهیه‌ی این تحقیق یاری کردند متشکرم.

تقدیم به

مادر و پدر عزیز، خواهر مهربانم زهرا و استاد
ارجمند جناب آقای مهندس احمد دالکی، که
همواره در کلیه‌ی امور بخصوص تحقیقات
علمی مرا یاری نموده‌اند و با آرزوی طول
عمری بسان خورشید تابان برایشان.

فهرست

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	مقدمه
فصل اول - کلیات	
۴	۱-۱ مقدمه‌ی کوتاهی بر دورسنجی
۵	۱-۱-۱ ماهواره‌های دورسنجی
۶	۱-۱-۲ انواع ماهواره‌های هواشناسی و اقیانوس‌شناسی
۸	۱-۱-۳ اقیانوس‌شناسی و کاربردهای دورسنجی
۸	۱-۱-۴ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در تهیه‌ی نقشه‌ی دمای سطح دریاچه
۹	۱-۱-۵ ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه‌جویی در وقت
۹	۱-۱-۶ آثار اتمسفر بر داده‌های ماهواره‌ای
۱۱	۱-۱-۷ انواع سنجنده‌ها

- ۱۱ ۲-۱ توصیف کلی دریاچه‌ی خزر
- ۱۴ ۱-۲-۱ رودخانه‌های مهم حوزه‌ی دریاچه‌ی خزر
- ۱۵ ۲-۲-۱ جریانهای دریاچه‌ی خزر
- ۱۸ ۳-۲-۱ دمای سطح
- ۲۰ ۴-۲-۱ کلیات و هدف از اندازه‌گیری دمای آب
- ۲۱ ۵-۲-۱ دمای آب دریاچه‌ی خزر
- ۲۵ ۶-۲-۱ شوری
- ۲۷ ۷-۲-۱ شوری آب دریاچه‌ی خزر
- ۳۱ ۸-۲-۱ وزن مخصوص
- ۳۳ ۹-۲-۱ چگالی دریاچه‌ی خزر
- ۳۳ ۱۰-۲-۱ مروری دیگر بر جریانهای دریاچه‌ی خزر
- ۳۷ ۱۱-۲-۱ امواج دریاچه‌ی خزر
- ۳۹ ۱۲-۲-۱ دمای آب طبقات پایین دریاچه‌ی خزر و نوسان آن در طول سال
- ۴۰ ۱۳-۲-۱ ترموکلاین در دریاچه‌ی خزر
- ۴۲ ۱۴-۲-۱ وضعیت یخبندان
- ۴۳ ۱۵-۲-۱ دمای هوا و انواع آب و هوا در دریاچه‌ی خزر
- ۴۴ ۱۶-۲-۱ میزان شفافیت و رنگ آب دریاچه‌ی خزر
- ۴۴ ۱۷-۲-۱ مه
- ۴۵ ۱۸-۲-۱ نوسانات سطح آب دریاچه‌ی خزر
- ۴۶ ۱۹-۲-۱ ابرها و نزولات جوی در دریاچه‌ی خزر

۴۹	۲۰-۲-۱ جریانه‌های همرفتی
	فصل دوم- تاریخچه
۵۱	۱-۲ ماهواره‌ی نوآ
۵۱	۱-۱-۲ اسکنر رنگی منطقه‌ی ساحلی CZCS
۵۲	۲-۱-۲ رادیومتر پیشرفته با قدرت تفکیک بالا AVHRR
۵۳	۳-۱-۲ محاسبه‌ی تعداد تصاویر در سیستم‌های مختلف برای سطح ایران
۵۳	۲-۲ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در تهیه‌ی نقشه‌ی دمای سطح دریا
۵۴	۳-۲ سوابق تحقیقی
۵۴	۱-۳-۲ سابقه‌ی تحقیق در خارج از کشور
۵۹	۲-۳-۲ سابقه‌ی تحقیق در ایران
	فصل سوم- مواد و روشها
۶۱	۱-۳ دما
۶۱	۱-۱-۳ کلیات و هدف از اندازه‌گیری دمای آب
۶۲	۲-۱-۳ روشهای مرسوم اندازه‌گیری دما در آب دریا
	۲-۳ جمع‌آوری اطلاعات
۶۲	۱-۲-۳ تصاویر ماهواره‌ای
۶۳	۲-۲-۳ داده‌های دریایی
۶۳	۳-۳-۳ نرم‌افزار و سخت‌افزار
۶۳	۳-۳ روش تحقیق
۶۵	۱-۳-۳ محاسبه دمای آب

۶۶	۲-۳-۳ رسم خطوط هم دما و نمودارها
۶۶	۳-۳-۳ آماده‌سازی آمار و اطلاعات موجود
۶۷	۴-۳-۳ تعیین مدل آماری
۶۸	۵-۳-۳ انتخاب مدل مناسب
فصل چهارم- بحث و نتیجه‌گیری	
۶۹	۱-۴ نتایج به دست آمده از تصاویر
۶۹	۱-۱-۴ روز ۲۰۰۵/۵/۲۴ (۸۴/۳/۳)
۷۳	۲-۱-۴ روز ۲۰۰۵/۶/۲۳ (۸۴/۴/۲)
۷۷	۳-۱-۴ روز ۲۰۰۵/۶/۲۴ (۸۴/۴/۳)
۸۰	۴-۱-۴ روز ۲۰۰۵/۶/۲۵ (۸۴/۴/۴)
۸۴	۵-۱-۴ روز ۲۰۰۵/۷/۲۴ (۸۴/۵/۲)
۸۷	۶-۱-۴ روز ۲۰۰۵/۷/۲۵ (۸۴/۵/۳)
۹۰	۷-۱-۴ روز ۲۰۰۳/۸/۱ (۸۲/۵/۱۰)
۹۳	۸-۱-۴ روز ۲۰۰۳/۸/۳ (۸۲/۵/۱۲)
۹۶	۹-۱-۴ روز ۲۰۰۳/۸/۵ (۸۲/۵/۱۴)
۱۰۰	۱۰-۱-۴ روز ۲۰۰۳/۹/۲۹ (۸۲/۷/۷)
۱۰۳	۲-۴ دلایل اختلاف بین دمای حاصل از ماهواره و دمای میدانی
۳-۴ محاسبه‌ی دمای سطح آب، الگوریتم پیشنهادی و فرمول جهانی SST و رابطه‌ی بین دمای	
۱۰۳	ماهواره و دمای میدانی
۱۰۴	۴-۴ نتیجه‌گیری

۱۰۶

۴-۵ پیشنهادات

۱۰۷

پیوست

۱۰۸

فهرست منابع

چکیده

تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی پهنه‌ی آبی نقش مهمی در فعالیتهای سیستم جوی، زندگی آبزیان، جریان‌های دریایی، میزان شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه‌ها دارد. اندازه‌گیری پارامتر دما با روشهای معمولی به علت گستردگی و همچنین متغیربودن آن، کاری هزینه‌بر و وقت‌گیر است. اما در سالهای اخیر استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی گسترش روزافزونی یافته است. در تحقیق حاضر به منظور مقایسه‌ی دمای سطحی حاصل از داده‌های دمای سطحی ماهواره‌ای و میدانی از تصاویر ماهواره‌ای NOAA¹ سنجنده‌ی AVHRR² استفاده شده است. ده تصویر ماهواره‌ای مورد پردازش قرار گرفته است و این تصاویر با داده‌های میدانی که در زمان گذر ماهواره اندازه‌گیری شده‌اند برای ده روز مربوط به فصلهای بهار و پاییز کالیبره شده‌اند و بین داده‌های حاصل از دمای سطح از ماهواره و داده‌های میدانی رابطه‌ی معنی‌داری به دست آمده است. با توجه به این که خطای نسبی کمتر از ۴۰ درصد بین این دو داده پذیرفتنی است، نتایج نشان می‌دهد که خطای نسبی بدست آمده در این تحقیق حداکثر ۲۱/۲۰ درصد است که خطای قابل قبولی است. همچنین در تمام ایستگاهها، مقدار اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی ماهواره همواره کمتر از داده‌های میدانی است که با نتایج جهانی مطابقت دارد. نکته‌ی دیگر اینکه اختلاف دما در دریاچه‌ی خزر به دلیل وسعت آن در یک عرض جغرافیایی گسترده اهمیت دارد ولی تنها عامل برای ایجاد جریانهای سطحی نیست. در نهایت اینکه اطلاعات دمای سطح دریاچه‌ی خزر جنوبی توسط نرم‌افزار اِرداس (ERDAS) برای تمام تصاویر استخراج و خطوط هم‌دما توسط نرم‌افزار Surfer رسم گردید.

¹. NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

². Advanced Very High Resolution Radiometer

مقدمه

دما را می‌توان همان انرژی خورشیدی جذب شده به وسیله‌ی مواد که تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود تعریف کرد. آب، تابش خورشیدی را به شدت جذب می‌کند. این جذب تا اعماق زیادی در آب نفوذ می‌کند، که این جذب نسبت به شفافیت آب متغیر است. ضخامت لایه‌های جاذب انرژی در اقیانوسها و دریاها به دو تا سه متر می‌رسد و در بخش وسیعی از آن توزیع می‌شود. ضریب جذب بالای آب همراه با ظرفیت گرمایی ویژه‌ی بالای آن و انتقالهای گوناگون گرما به سایر قسمتهای آب باعث شده که هرکجا پهنه‌ی آبی داشته باشیم به عنوان ذخیره‌کننده‌ی گرما عمل کند.

از آنجایی که دریاها و اقیانوسها مهمترین منابع رطوبتی و محل تشکیل سیستمهای مختلف جوی هستند، ویژگیهای گرمایی آب و ارتباط متقابل آن با دمای هوا در این امر دارای اهمیت است. در دنیای امروز مطالعات زیادی در مورد نقش دریاها و دریاچه‌ها بر روی مناطق واكوسیستمهای مجاور آن صورت گرفته است.

دمای سطح آب به دمای لایه‌ی سطحی آب گفته می‌شود. دمای سطح آب دریاچه‌ها^۱ (Lswt) تأثیر زیادی روی اکوسیستم منطقه‌ی مجاور آن دارد که فعالیتهای انسانی اطراف منطقه‌ی آبی را نیز شامل می‌شود. حجم مناسب و تغییرات زمانی و مکانی پهنه‌ی آبی نقش مهمی روی فعالیتهای سیستم جوی آبیان، جریانات دریایی، میزان شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه‌ها دارد. برای استفاده بهتر از منابع دریایی، حمل و نقل، حفاظت تأسیسات ساحلی در برابر امواج و بهره‌برداری از انرژی آب، داشتن اطلاعات کمی و کیفی از مشخصه‌های پهنه‌ی آبی لازم و ضروری است که یکی از این عوامل، دمای سطح آب است.

علاوه بر شرایط دمایی آب و هوایی، توزیع زمانی و مکانی دمای سطح دریاها برای کاربردهای مختلف از جمله پیش‌بینیهای مدل‌های عددی شار^۲ (Nwp) و بودجه‌ی انرژی، مطالعه‌ی جریان دریاچه‌ها و هواشناسی ارزشمند است.

دمای آب به وسیله‌ی دماسنجهایی که در محفظه‌هایی به داخل آب فرستاده می‌شوند، در عمقهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری یا در ایستگاههای ثابت دریایی (بویه)^۳ انجام می‌شود، یا به وسیله‌ی قایقها و کشتیهای تحقیقاتی که در محل‌های مخصوص مستقرند انجام می‌گیرد.

۱ Lswt: Lake Surface Water Temperature

۲. Nwp: Numerical Water Prediction

۳. Buoy

جمع‌آوری اطلاعات میدانی و مشاهدات به علت گستردگی و همچنین متغیر بودن بعضی پارامترها و دیگر مشکلات، کاری هزینه‌بر و وقت‌گیر است.

در سالهای اخیر استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم دورسنجی در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی گسترش روزافزونی یافته است. داده‌های ماهواره‌ای به عنوان ارزشهای عددی انرژی حاصل از پدیده‌های زمینی به سنجنده، اهمیت روزافزونی در استخراج اطلاعات منابع زمینی دارد. با برآورد دمای سطحی آب از روی داده‌های تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های دمای سطحی دریا در دوره‌های زمانی بلند مدت تهیه می‌شود. از این نقشه‌ها در مطالعات دریایی و اقیانوسی نظیر بررسی الگوی جریان‌ات مختلف دریا، محیطهای مناسب زندگی و تجمع آبزیان، رابطه‌ی بین شوری و دما، نواحی جریان‌ات فراجوشی^۱ و تغییرات دمایی و غیره می‌توان استفاده کرد. دریاچه‌ی خزر در غرب آسیا و شرق قفقاز و شمال رشته کوه‌های البرز قرار دارد. اهمیت آن به دلیل تولید خاویار، منابع نفت و گاز است. امروزه به دلیل مشکلاتی از قبیل افزایش سطح آب، پیشرفت آب در سواحل و فراگرفتن بعضی شهرهای ساحلی، آلودگی رودخانه‌های ولگا، اورال و کورا که موجب تخریب زیستگاه پرورش ماهی خاویار است، به این اکوسیستم آبی توجه زیادی می‌شود. بعلاوه به دلیل بررسی انتقال نفت و گاز از زیر آب دریاچه‌ی خزر این اکوسیستم آبی مورد توجه جهانی قرار گرفته است.

در این تحقیق سعی بر آن است که پاسخ مناسبی برای سؤال زیر بیابیم:

آیا داده‌های دمای سطحی آب حاصل از داده‌های ماهواره‌ای را می‌توان جایگزین

داده‌های میدانی نمود؟

۱. Up welling

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه‌ی کوتاهی بر دورسنجی

دورسنجی، همان‌طور که از این اصطلاح استنباط می‌شود، دلالت دارد بر سنجیدن اشیا از یک فاصله؛ یعنی، تشخیص و اندازه‌گیری ویژگی جسم بدون اینکه در تماس مستقیم و بالفعل با آن جسم باشیم. فضانوردی که به ماه می‌رود، خشکی پودرمانند سطح ماه را در نتیجه‌ی تماس احساس می‌کند. این عمل دورسنجی نیست، زیرا فضانورد در کره‌ی ماه است و می‌تواند سطح آن را لمس کند. اما، در حالی که در منزلتان، مقابل تلویزیون نشسته‌اید، می‌توانید از تلویزیون ابری از غبار را مشاهده کنید که ناشی از تماس ابزار ماه‌نشین فضانورد با سطح ماه است. بدین ترتیب، همان نتیجه‌ای را که فضانورد در آنجا گرفته شما در منزل خویش می‌گیرید. این دورسنجی است، چون شما در کره‌ی ماه نیستید و نمی‌توانید آن را لمس کنید. گالیله، هنگامی که از درون تلسکوپ خود آسمانها را می‌نگریست، از جمله نخستین سنجش‌کنندگان از دور با کمک ابزار اپتیکی بود. خلبان بالگرد، موقعی که رفت و آمد در جاده‌های زیر پای خود را مشاهده می‌کند و درباره‌ی راه‌بندها در ساعات شلوغ صبح به زمین گزارش می‌فرستد، سنجش‌کننده‌ی از دور است. هنگامی که در نور خورشید، آفتاب می‌گیریم و گرمایش را احساس می‌کنیم، یا وقتی مسابقه‌ی اسب‌دوانی را تماشا می‌کنیم، و یا زمانی که به صدای جوشیدن آب درون کتری گوش می‌سپاریم، دورسنجی انجام می‌دهیم. حواس بساوایی، بینایی، و شنوایی ما در تماس مستقیم با هیچ یک از موارد فوق نیست، زیرا آنها با فاصله‌ای دور از ما عمل می‌کنند. از احساس گرما نتیجه می‌گیریم خورشید گرم است؛ از حس بینایی سرعت اسب را نتیجه می‌گیریم؛ و از حس شنوایی نتیجه می‌گیریم که دمای آب درون کتری به نقطه‌ی جوش رسیده است. اینها مثالهایی از دورسنجی است.

در جهان دانش برای این اصطلاح معنایی خاص‌تر و محدودتر وجود دارد. هدف ما فقط سنجش و اندازه‌گیری منابع و محیط کره‌ی زمین، از جمله اقیانوسها و دریاهاست، با استفاده از وسایل و دستگاههایی که در فضای بالای زمین هستند. بسیاری از این وسایل و دستگاهها اساساً انواع

دوربینهای عکاسی اند؛ دوربینهای معمولی با فیلم سیاه و سفید یا رنگی، دوربینهای خاص مادون قرمز یا ماورای بنفش، دوربینهای تلویزیونی و ... این وسایل ممکن است با راکت، بالن، هواپیما، بالگرد، یا شاتل به فضا پرتاب شوند.

دورسنجی بدون دو دستاورد مهم زیر نمی توانست وجود داشته باشد:

۱. توانایی دورشدن از زمین به حدکافی به طوری که بتوان چشم انداز ارزشمندی به سطح زمین داشت.
۲. اختراع راههای اخذ تصویر.

۱-۱-۱ ماهواره‌های دورسنجی

ماهواره‌های دورسنجی برای دیده‌بانی سطح زمین، اقیانوسها و حتی جو زمین و چگونگی تغییرات آنها در طی زمان به کار می‌روند. اکنون ماهواره‌های دورسنجی در برنامه‌های درازمدت بشر برای حفاظت از محیط زیست نقشی مهم و اساسی دارند. اما، چه ویژگی خاصی در این ماهواره‌ها وجود دارد که آنها را به وسیله‌ای منحصر بفرد در تأمین این هدف بدل نموده است؟ چهار ویژگی زیر پاسخ این سؤال را روشن می‌کند.

پوشش دهی: اغلب ماهواره‌های دورسنجی تمامی سطح زمین را پوشش می‌دهند و این امر موجب می‌شود تا این ماهواره‌ها برای مطالعه‌ی پدیده‌های بزرگ مقیاسی چون چرخه‌های اقیانوسی - اقلیمی و جنگل‌زدایی، بخصوص در نواحی دورافتاده، اهمیت یابند.

قابلیت تکرار: ماهواره‌ها هر منطقه را برای مدت‌زمانی طولانی نظاره می‌کنند. این امر سبب می‌شود تا دیده‌بانی تغییرات زیست‌محیطی ناشی از دخالت‌های انسان یا عوامل طبیعی امکان‌پذیر شود و بتوان وضعیت آینده و روند تخریب محیط زیست را شبیه‌سازی کرد.

صرفه‌جویی در زمان: بسیاری از ماهواره‌ها می‌توانند در مواقع اضطراری داده‌های لازم را فراهم آورند. در زمان وقوع زلزله یا بروز سیل و آتش‌سوزی جنگل ممکن است حتی زمانی برای برآورد خسارات از طریق مشاهدات زمینی یا هوایی وجود نداشته باشد.

صرفه‌جویی در هزینه: در طول عمر مفید، از هر ماهواره می‌توان استفاده‌های متعددی کرد. در بلندمدت هزینه‌ی پرتاب و عملیاتی‌کردن هر ماهواره در مقابل خدماتی که عرضه می‌کند جبران

می شود.

همگونی: در ماهواره‌های مختلف حسگر خاصی نصب می‌شود که گردآوری تمامی داده‌ها را برعهده دارد. به یکسانی گردآوری داده‌ها در ماهواره ویژگی همگونی گویند. این ویژگی، به عنوان نمونه، آشکارسازی تغییرات پیچیده در کاربری زمین در یک منطقه را پس از سپری شدن سالیان متمادی تسهیل می‌کند.

۱-۱-۲ انواع ماهواره‌های هواشناسی و اقیانوس‌شناسی

الف) ماهواره‌ی MOS I (Marine Observation Satellite)

ماهواره‌ی MOS I یا ماهواره‌ی مشاهده‌ی دریایی ۱ را کشور ژاپن در ۳۰ بهمن ۱۳۶۵ شمسی با راکت دوزمانه (N II) از پایگاه فضایی تانگاشیما به فضا پرتاب کرد. هدف از پرتاب این ماهواره بهره‌وری مؤثر از منابع طبیعی و حفاظت محیط زیست اعلام شده است. این ماهواره به شکل جعبه‌ای به ابعاد $۲/۴ \times ۱/۴۸ \times ۱/۲۶$ متر است. وزن ماهواره تقریباً ۷۴۰ کیلوگرم و در ارتفاع ۹۰۹ کیلومتری سطح زمین است. در هر ۱۰۳ دقیقه یکبار کره‌ی زمین را دور می‌زند. زمان لازم برای پوشش کامل زمین ۱۷ روز است. زاویه‌ی میل مدار ۹۹ درجه و حرکت ماهواره از شمال به جنوب و بالعکس است.

ب) ماهواره‌های سری Tiros

اولین ماهواره از ده ماهواره‌ی سری Tiros که اطلاعات را از زمین دریافت و به زمین مخابره می‌کرد، ماهواره‌ی Tiros 1 (Television & Infra Red Observation System) بود که در ۱۹۶۰ میلادی، امریکا به فضا پرتاب کرد. این ماهواره در ارتفاع ۷۴۰ کیلومتری زمین، با مداری که با خط استوا زاویه‌ی ۴۸ درجه می‌ساخت، هر ۹۹/۲۴ دقیقه یکبار کره‌ی زمین را دور می‌زد. تا ۱۹۶۵ میلادی ده ماهواره از این سری به مدار فرستاده شد. در ۱۹۶۸ میلادی عمر مفید تمامی آنها به پایان رسید.

ج) ماهواره‌های سری TOS (Tiros Operational Satellite)

اولین ماهواره از این سری است که هدف اصلی آنها مطالعه‌ی محیط زیست بود. به همین دلیل آنها

را (Environmental Science Services Administration) ESSA نامیدند. در ۱۹۶۶ میلادی به فضا فرستاده شد که در ارتفاع ۱۴۰۰ کیلومتری هر ۱۱۴ دقیقه یکبار کره‌ی زمین را دور می‌زد. از این سری نه ماهواره به فضا فرستاده شده است. عمر مفید این سری نیز در ۱۹۷۶ میلادی به پایان رسید.

(Improved Tiros & Atmospheric Administration) ITOS سری ماهواره‌های

اولین سری این ماهواره‌ها با نام ITOS-1 در ۱۹۷۰ میلادی در ارتفاع ۱۷۰۰ کیلومتری زمین قرار گرفت. عمر این ماهواره در ۱۹۷۱ میلادی به پایان رسید و پرتاب بعدی نیز با شکست روبه‌رو شد.

(NIMBUS) سری ماهواره‌های

در ۱۹۶۴ میلادی، اولین نوع این ماهواره به فضا فرستاده شد و در ارتفاع ۱۱۰۰ کیلومتری زمین قرار گرفت. این ماهواره هر ۹۸/۳ دقیقه یکبار کره‌ی زمین را دور می‌زند. این ماهواره برای پیش‌بینی شرایط جوی مفید است.

(National Oceanic & Atmospheric Administration) NOAA سری ماهواره‌های

اولین ماهواره از این سری در ۱۹۷۰ میلادی به فضا پرتاب شد و در ارتفاع ۸۵۰ کیلومتری شروع به فعالیت کرد. این ماهواره هر ۱۰۱ دقیقه یکبار کره‌ی زمین را دور می‌زند.

(Synchronous Meteorological Satellite) SMS سری ماهواره‌های

در ۱۹۷۴ میلادی اولین و در ۱۹۷۵ میلادی دومین آنها در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری قرار گرفتند.

(Geostationary Operational Environmental Satellite) Goes سری ماهواره‌های

این ماهواره‌ها، به ترتیب، در سالهای ۱۹۷۵، ۱۹۸۰، و ۱۹۸۱ میلادی به فضا پرتاب شدند و در ارتفاع ۳۵۶۰۰ کیلومتری زمین قرار گرفتند.

ط) ماهواره‌های Seasat

در ۱۹۷۸ میلادی، اولین ماهواره به نام Seasat به فضا فرستاده شد و در ارتفاع ۸۰۰ کیلومتری قرار گرفت.

۱-۱-۳ اقیانوس‌شناسی و کاربردهای دورسنجی

اقیانوسها در چرخه‌ی آب جهانی نقش ارزنده‌ای دارند. نزولات آسمانی از طریق جویبارها و نهرها به رودخانه‌ها سرازیر می‌شود و پس از طی بستر آنها- جز قسمتی که انسان از آن بهره‌برداری می‌کند- بقیه به اقیانوسها می‌ریزد و دوباره با تبخیر از سطح اقیانوسها و دریاها چرخه‌ی دیگری را آغاز می‌کند. در فرایند مزبور روشن است که هوای بالای اقیانوسها با توجه به ویژگیهای خاص خود غالباً از بخار آب پوشیده و در نتیجه ابرآلود خواهد بود. به همین دلیل دورسنجی اقیانوسها قاعداً باید خارج از طیف مرئی صورت گیرد.

به طور کلی، هدف از به کارگیری ماهواره‌ها را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱. به دست آوردن آمار درباره‌ی ارتفاع و طول امواج اقیانوسها و طیفهای انرژی حاصل از آنها؛
۲. توپوگرافی سطح دریاها و اقیانوسها که اطلاعات ژئوئیدی^۱ نامند؛
۳. شناسایی مسیر حرکت توفانهای دریایی و اقیانوسی، و جریانهای اقیانوسی و دیگر عوامل مربوط به آن؛
۴. اندازه‌گیریهای سرعت بادها و تعیین مسیر وزش آنها؛
۵. تعیین دمای سطح دریاها و اقیانوسها؛
۶. آشنایی با وسعت و کیفیت یخهای دریاها و اقیانوسها.

۱-۱-۴ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌ی دمای سطح دریاچه

تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی جزئی از کاربرد داده‌های ماهواره‌ای است؛ از آن جمله، تهیه‌ی نقشه‌ی گرمای آنها در اقیانوسها و دریاها آزاد دنیا که کاربرد وسیعی دارد. دمای سطح دریاها عامل بسیار مؤثری در اقلیم جهانی است. یکی از کاربردهای وسیع آن در بررسی منابع غذایی دریایی است. مورد

^۱ Geoidal Information

دیگر اینکه جریانهای دریایی و دمای سطح دریاها مستقیماً به یکدیگر وابسته‌اند. پس، مطالعه‌ی سطح دریاها می‌تواند کمک مؤثری در پردازش اقلیم باشد و اختراهای لازم را قبل از وقوع حوادث اقلیمی بدهد.

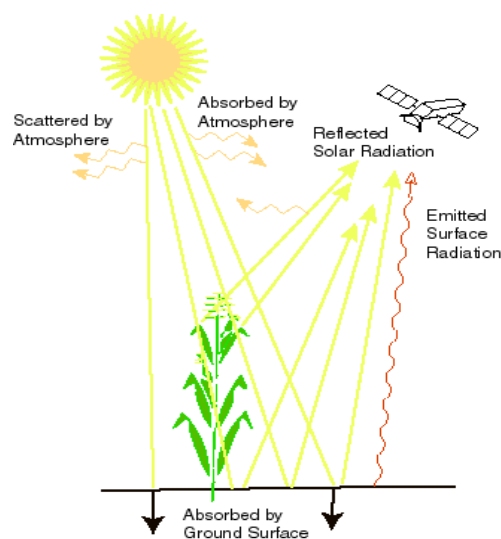
۵-۱-۱ ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه‌جویی در وقت

استفاده از فناوری دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای اغلب به کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در وقت، و افزایش دقت و سرعت می‌انجامد و روز به روز بر اهمیت این فناوری در توسعه‌ی پایدار افزوده می‌شود. با استفاده از این فناوری می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از طرحها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی، و محلی به نتیجه رساند.

زمان تهیه‌ی نقشه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یک‌هشتم زمان مورد نیاز با روش سنتی است و هزینه‌ها هم حدوداً یک‌دویستم شده است. البته، اگر حجم عظیم لایه‌های اطلاعاتی را که با اندکی صرف وقت باز هم از داده‌های ماهواره‌ای قابل استخراج است منظور کنیم، سودمندی و کارایی داده‌های ماهواره‌ای بیش از این خواهد شد.

۶-۱-۱ آثار اتمسفر بر داده‌های ماهواره‌ای

منشأ داده‌های ماهواره‌ای بازتاب انرژی یا تشعشع انرژی از پدیده‌های زمینی است (شکل ۱-۱). از این رو، برای بررسی تأثیرات اتمسفر بر داده‌های ماهواره‌ای لازم است تا تأثیرات کاهش‌دهنده‌ی عوامل جوی و اتمسفری بر انرژی تابشی خورشیدی مطالعه شود. در این خصوص، تأثیرات اتمسفر را می‌توان به دو گروه تأثیرات تقلیلی ثابت و تأثیرات تقلیلی متغیر تقسیم کرد.



شکل ۱-۱ نمودار تشعشعات انرژی از پدیده‌های زمینی (منبع: Google)

آثار تقلیل انرژی ثابت اتمسفری به سبب جذب ملکولهای جوی صورت می‌گیرد، در حالی که تأثیرات تقلیل انرژی متغیر به علت اوضاع جوی محلی نواحی مختلف به وجود می‌آید. به سبب ویژگیهای گازهای تشکیل‌دهنده‌ی اتمسفر، تقلیل انرژی خورشیدی در عبور از جو زمانی بیشتر خواهد بود که زاویه‌ی تابشی خورشیدی میل بیشتری داشته باشد، زیرا در چنین حالتی انرژی خورشیدی برای رسیدن به سطح زمین می‌بایست مسافت بیشتری را در مقطع فشرده‌تر و متراکم‌تر اتمسفر طی کند. برعکس، زمانی که ارتفاع خورشیدی بیشتر باشد، انرژی خورشیدی از مقطع جوی متراکم و فشرده فاصله‌ی کوتاه‌تری را طی می‌کند و در نتیجه به علت جذب کم ملکولی کمتر کاهش می‌یابد و بیشتر به سطح زمین می‌رسد.

اثرات اتمسفر بر انرژی منتشرشده‌ی خورشیدی در گستره‌ی وسیع طیفهای الکترومغناطیسی متفاوت است و می‌توان آنها را به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. طیف مرئی و نزدیک‌های آن که طول موجهای ۰/۲۹ تا ۰/۷۰۵ میکرومتر را شامل می‌شود. انرژی منتشرشده در این طول موجها به شدت از طریق اصل پخش و پراکنش اتمسفری متأثر می‌شود.
۲. طیفهای فروسرخ نزدیک که در محدوده‌ی ۰/۷۵ تا ۲۲ میکرومتری قرار دارد و پخش و پراکنش و

جذب ملکولی ذرات اتمسفری در این طول موجها نیز چشمگیر است.

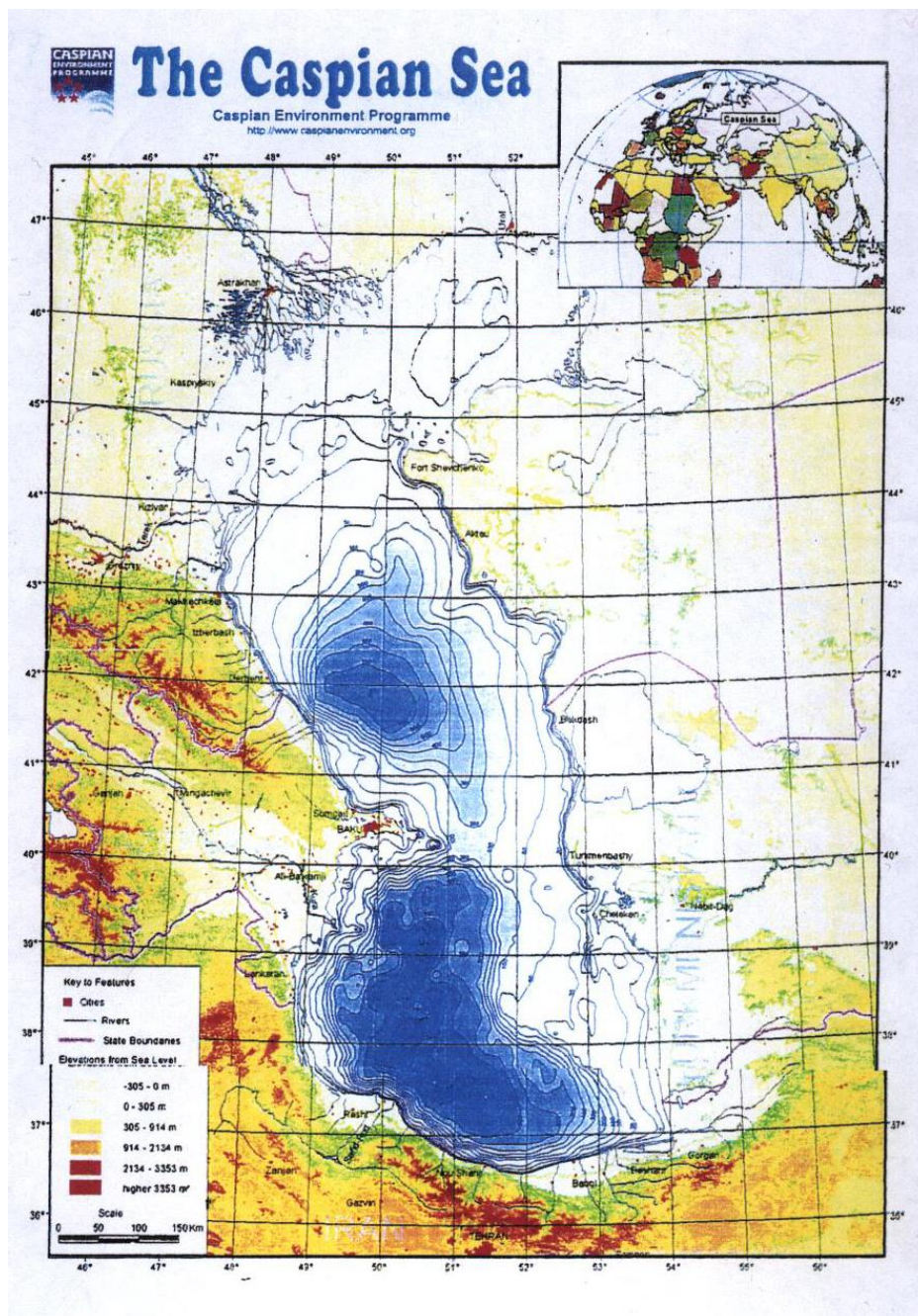
۳. طیفهای فروسرخ حرارتی و میکروویو که در محدوده‌ی طول موجهای یک‌دهم سانتی‌متر تا ۳۰ متر است از نظر عوامل پخش و پراکنش جوی و جذب ملکولی برکنار است. دلیل این امر وجود ذرات آب و بخارهای آن به صورت ابر است که در مقایسه با طول موجهای انرژی منتشرشده در این محدوده بسیار ریز است و توانایی واکنش در برابر انرژی منتشرشده را ندارد.

۷-۱-۱ انواع سنجنده‌ها

به طور کلی سنجنده‌های به دو دسته‌ی سنجنده‌های فعال و سنجنده‌های غیرفعال تقسیم می‌شوند. سنجنده‌های غیرفعال تابش الکترومغناطیسی بازتابی یا گسیلی از منابع طبیعی را آشکار می‌کنند، در حالی که سنجنده‌های فعال پاسخهای بازتابیده از اشیایی را آشکار می‌کنند که از سوی منابع انرژی مصنوعی، نظیر رادار، تابیده می‌شوند. سنجنده‌های فعال و غیرفعال نیز به دو گروه سیستمهای غیراسکن‌کننده و اسکن‌کننده طبقه‌بندی می‌شوند. سنجنده‌ی AVHRR سنجنده‌ای غیرفعال است.

۲-۱ توصیف کلی دریاچه‌ی خزر

دریاچه‌ی خزر با وسعتی نزدیک به ۴۳۸۸۰۰ کیلومتر مربع، بزرگ‌ترین دریاچه‌ی جهان است. سطح آب این دریاچه حدود ۲۸/۳۳ متر پایین‌تر از سطح آبهای آزاد جهان است. این دریاچه که عمیق‌ترین گودال بین قفقاز و آسیای مرکزی پرکرده را در ۳۷-۴۷ درجه‌ی عرض شمالی و ۴۷-۵۵ درجه‌ی طول شرقی گسترش دارد. طول آن نزدیک به ۱۲۱۰ کیلومتر و عرض آن نیز حدود ۳۲۰ کیلومتر است (شکل ۱-۲). مساحت دریاچه‌ی خزر با حدود ۴۳۸۸۰۰ کیلومتر مربع از کشور ژاپن وسیع‌تر است. از ۱۸۳۰ تا ۱۹۲۹ میلادی سطح متوسط آب ۲۵/۶ متر زیر سطح آب آزاد دریاها بوده و در ۱۹۲۹ تا ۱۹۵۶ میلادی این رقم به ۲۸ متر رسیده است. این کاهش سبب شده مساحت آن کاهش یابد. سطح آب این دریاچه نیز از ۱۳۵۷ شمسی رو به افزایش گذاشته که این روند همچنان



شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی و تغییرات عمق دریاچه ی خزر (سایت google)

ادامه دارد. طول سواحل این دریاچه حدود ۶۷۰۰ کیلومتر است که ۶۵۰ کیلومتر آن متعلق به ایران است. دریاچه‌ی خزر از آن سوی کوه‌های قفقاز در منتهی‌الیه جنوب شرقی اروپا تا سرزمین‌های تخت و وسیع غرب آسیای مرکزی گسترش یافته است.

اغلب استدلال می‌شود که این حوزه‌ی بسته، به علت عدم ارتباط با آب‌های آزاد جهان، بزرگ‌ترین دریاچه‌ی روی زمین است و اطلاق نام دریاچه به این حوزه، تنها به دلیل وسعت زیاد آن است. ولی این استدلال صحیح نیست، زیرا همان طور که می‌دانیم، دریاچه‌ی خزر تا زمان‌های کاملاً جدید از نظر زمین‌شناختی، از طریق دریای آسف^۱، به دریای سیاه و دریای مدیترانه و بنابراین به آب‌های آزاد جهان مربوط بوده است. این واقعیت به شدت بر تمام مشخصات جغرافیای طبیعی آن تأثیر گذارده است. افزون بر این دریاچه‌ی خزر از نظر اقیانوس‌شناسی یکی از انواع چهارگانه‌ی دریاچه‌های جهان است که به نام دریاچه‌های بسته نام‌گذاری شده‌اند. طبق تعریف، این گونه دریاچه‌ها قطعات و بقایای دریا‌های قدیمی‌اند که امروزه جدا مانده و راهی به آب‌های آزاد جهان ندارند. البته، در یکی از دوره‌های کاملاً جدید زمین‌شناختی بخشی از دریا‌های آزاد جهان بوده است. نام دریاچه‌ی کاسپین^۲ از اقوام باستانی کاسپی^۳ که زمانی در غرب سرزمینی به نام قفقاز بزرگ زندگی کرده‌اند مشتق شده است. این دریاچه به سه بخش به شرح زیر تقسیم شده است:

- **بخش شمالی.** اگر با خطی مستقیم جزیره‌ی چچن را از مغرب به دماغه‌ی تیوپ‌کاراگای در شبه‌جزیره‌ی منقشلاق وصل کنیم، ناحیه‌ای را که در شمال خط قرارداد بخش شمالی می‌نامند. عمق این بخش بسیار کم است و حدود چهارپنجم آن کمتر از ۱۰ متر عمق دارد و فقط قسمت کمی از آن که نزدیک بخش میانی است عمقی حدود ۲۵ متر دارد.
- **بخش میانی.** انتهای جنوبی این قسمت دریاچه، یعنی بخش میانه، را باید خطی مستقیم فرض کرد که شبه‌جزیره‌ی آبشوران را به دماغه‌ی کولالی وصل می‌کند. عمق متوسط این بخش از ۱۷۶ تا ۲۱۳ متر و حداکثر عمق آن نیز تا ۷۶۸ متر گزارش شده

¹ Azov

² Caspian

³ Caspi

است. بین بخش میانی و جنوبی، قعر دریاچه (امتداد ارتفاعات قفقاز) به شدت برآمدگی دارد. به اصطلاح یک گردنه‌ی زیرآبی تشکیل شده است که از شبه‌جزیره‌ی آبشوران تا کرانه‌های شرقی ادامه دارد. در حقیقت ادامه‌ی چین‌خوردگی‌های کپه‌داغ است. عمق دریاچه تا این گردنه‌ی زیرآبی زیاد نیست و فقط قسمت کمی از آن حدود ۲۰۰ متر عمق دارد.

• **بخش جنوبی.** این بخش در جنوب خط مفروض شبه‌جزیره‌ی آبشوران و دماغه‌ی کولالی واقع است و تا کرانه‌های جنوبی سواحل ایران ادامه دارد. این قسمت نسبت به قسمت‌های دیگر عمیق‌تر و متوسط عمق آن به ۳۲۵ متر و حداکثر آن حدود ۱۰۲۵ متر می‌رسد. پروفیسور کنی‌یوویچ^۱ زمانی حجم آب دریاچه‌ی خزر را حدود ۷۹۱۳۹ میلیارد مترمکعب محاسبه کرده است و معتقد است حجم آب بخش شمالی از ادرصد کل آب دریاچه کمتر و حجم بخش میانی تقریباً یک‌سوم آب دریاچه و دوسوم بقیه در بخش جنوبی انباشته شده است.

دریاچه‌ی خزر از نظر تاریخی بخصوص به لحاظ نوسانات اخیر سطح آب آن از اهمیت علمی استثنایی برخوردار است. از این نظر، نشانه‌های چشمگیری از تکامل زمین‌شناختی و آب و هوایی منطقه داراست.

تغییرات اعمال‌شده به دست انسان، بویژه آنهایی که از ساختمان سدها و مخازن و کانالها روی رودخانه‌ی ولگا^۲ صورت گرفته‌اند، تأثیر خود را بر بیلان آب‌شناختی دریاچه‌ی خزر گذارده‌اند. دریاچه‌ی خزر از نظر شبکه‌ی حمل و نقل در منطقه و تولید نفت و گاز نیز اهمیت بسیار زیادی دارد.

۱-۲-۱ رودخانه‌های مهم حوزه‌ی دریاچه‌ی خزر

از ناحیه‌ی شمال شرقی دریاچه به طرف مغرب رودخانه‌های امبا^۳، اورال^۴، و ولگا به دریاچه‌ی خزر می‌ریزند که اورال بر امبا و ولگا بر اورال، از نظر مقدار آب و طول مسیری که طی می‌کنند، همچنین

^۱ Kenipovitch

^۲ Volga

^۳ Emba

^۴ Ourale

از لحاظ وسعت حوزهی آبریز برتری دارد.

در ساحل غربی دریاچه از شمال به طرف جنوب رودخانه‌های کوما^۱، ترک^۲، سولاک^۳، کوراء^۴ و ارس قرار دارند.

در ساحل شرقی این دریاچه تا دهانه‌ی رودخانه‌ی اترک در خلیج حسین‌قلی یا غازیان هیچ رودی وارد دریاچه نمی‌شود.

در سواحل متعلق به ایران (حاشیه‌ی جنوبی، جنوب شرقی و غربی) رودهای متعددی وارد دریاچه می‌شوند که اهم آنها عبارت‌اند از گرگان‌رود، قرسو، تجن، طالار، هراز، چالوس، چشمه‌کیله، پل‌رود، شلمان‌رود، چمخاله، سفیدرود، پسیخان، ماسوله، لیمر، و بالاخره آستارا که در ناحیه‌ی مرزی قرارداد.

رودخانه‌ی جیحون در سنوات گذشته گاهی به دریاچه‌ی خزر و زمانی به دریای آرال می‌ریخته است و چندین مرتبه تغییر مجرا داده است. با وجودی که آب این رودخانه به دریای آرال می‌ریزد، باید این رود را در قلمرو حوزه‌ی آبریز دریاچه‌ی خزر قلمداد کرد. در شکل ۱-۳ موقعیت طبیعی رودخانه‌های مهم منتهی به دریاچه‌ی خزر نشان داده شده است.

۱-۲-۲ جریانهای دریاچه‌ی خزر

نظر به اینکه اکنون جریانهای دریاچه‌ای یکی از مهم‌ترین عوامل انتقال آلودگیها (بویژه آلودگیهای نفتی) به سواحل جنوبی این دریاچه است، نوع این جریانها را به اختصار بررسی می‌کنیم. جریانهای دریاچه‌ی خزر بر دو نوع‌اند:

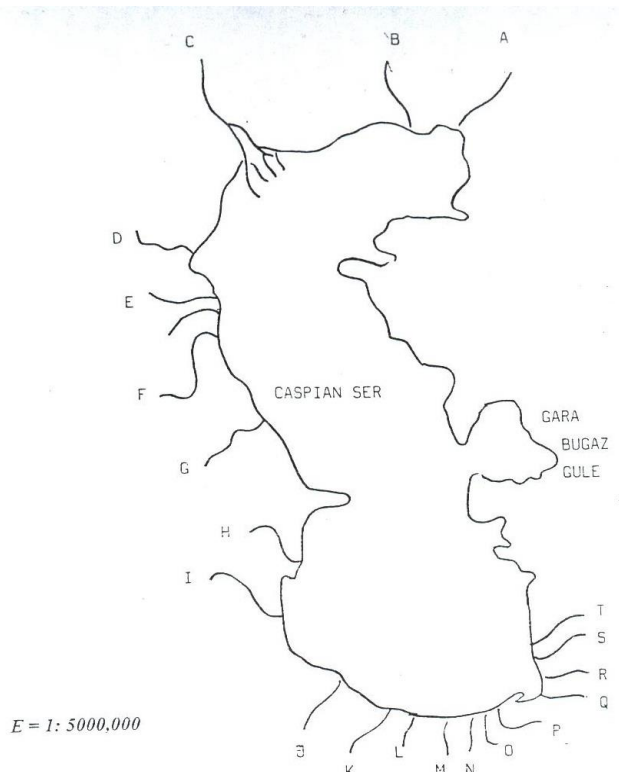
۱. **جریانهای غیرمنظم:** تابع وزش باد، جهت نیرو، و مدت وزش بادند، بنابراین جریانهای غیر منظم اتفاقی بوده و سرعت و جهت خاصی ندارند.

¹ Coma

² Tereke

³ Solak

⁴ Kura



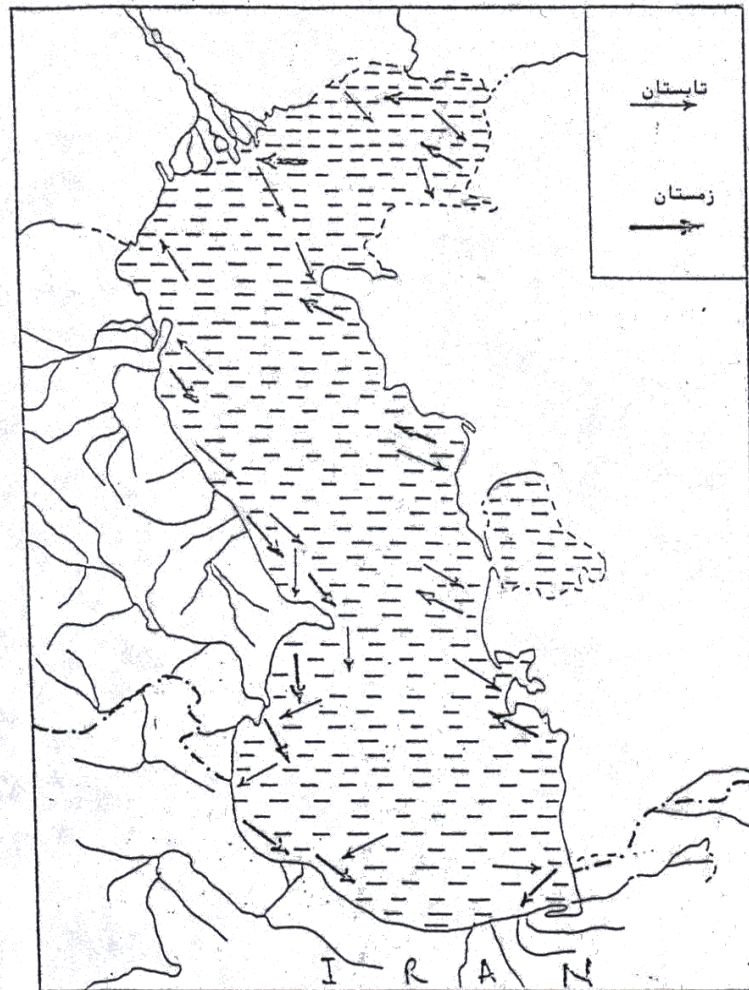
J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	علائم
سفیدرود	آستارا	کورا	سومار	سولاک	ترک	کوما	ولگا	اورال	امبا	رودخانه
T	S	R	Q	P	O	N	M	L	K	علائم
اترک	گرگانرود	قره‌سو	نکاء	تجن	تالار	بابلرود	هراز	چالوس	جشمه‌کبه	رودخانه

شکل ۳-۱ موقعیت طبیعی رودخانه‌های منتهی به دریاچه‌ی خزر (منبع ۱)

۲. **جریانهای منظم:** برعکس جریانهای غیر منظم، جریانهای ثابت‌اند و از سیستم جریانهای معینی پیروی می‌کنند که در دریانوردی اهمیت دارند. جریان اصلی یا شاه‌جریان در طول کرانه‌های شرقی، از جنوب به شمال، می‌رود و در قسمت شمالی بخش میانی دریاچه‌ی خزر به مغرب برمی‌گردد و پس از رسیدن به کرانه‌های غربی به جنوب برمی‌گردد و از طول ساحل غربی پایین می‌آید و در کرانه‌های جنوبی به طرف شرق منحرف می‌شود. پس از عبور از سواحل ایران در طول کرانه‌های شرقی به طرف شمال می‌رود. به همین ترتیب، گردش دورانی خود را ادامه می‌دهد (این جریان از قسمتهای با حداکثر عمق عبور نمی‌کند). جریان اصلی یا شاه‌جریان دو شاخه‌ی فرعی دارد که در جنوب برزخ زیرآبی دریاچه‌ی خزر (جداکننده‌ی بخش جنوبی دریاچه‌ی خزر از بخش میانی) قسمتی از آب شاه‌جریان شرقی از آن جدا می‌شود و به طرف مغرب می‌رود و به شاه‌جریان غربی می‌پیوندد. در شمال برزخ یا تنگه‌ی زیرآبی مذکور قسمتی از آب شاه‌جریان غربی از آن جدا می‌شود و به شاه‌جریان شرقی می‌پیوندد. سیمای کلی جریانهای دریاچه‌ای در فصل تابستان و زمستان در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.

علاوه بر دو جریان فرعی مزبور، دو جریان فرعی با شاخه‌ی کوچک‌تری وجود دارند که هر دوی آنها از جریان کرانه‌های جنوبی سرچشمه می‌گیرند و دوباره به جریان اصلی متصل می‌شوند. رویهم رفته، این جریانها در قسمت کم‌عمق دریاچه‌ی خزر (بخش شمالی) تأثیر چندانی ندارند. مسیر این جریانها بر حسب بادهایی که می‌وزد و نیروی انحراف چرخش زمینی تغییر می‌کند. جریانهای مزبور لایه‌ای را به ضخامت چندصد متر تحت تأثیر قرار می‌دهد. سرعت این جریانها به $0/3$ تا $0/4$ متر در ثانیه می‌رسند.

جریان دیگری نیز علاوه بر جریانهای فوق از دریاچه‌ی خزر به طرف خلیج قره‌بغاز وجود دارد که علت آن‌رامی توان در تبخیر بیش از حد در خلیج و در نتیجه اختلاف سطح با دریاچه دانست.



شکل ۱-۴ سیمای کلی جریانهای دریاچه خزر در فصل تابستان و زمستان (منبع ۱)

۱-۱-۲ دمای سطحی

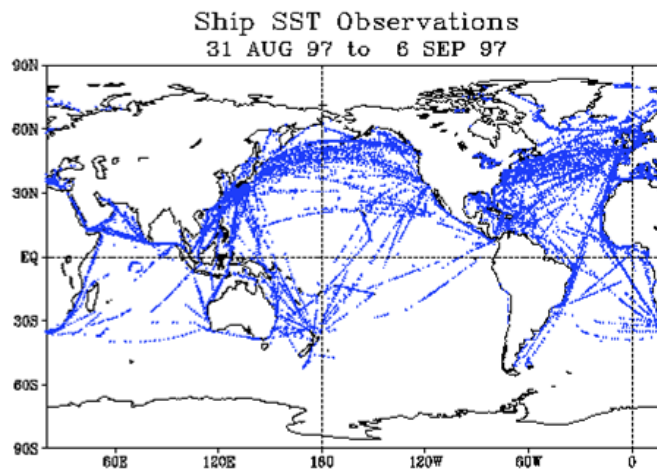
دمای سطح دریا^۱ (SST) پارامتر مهم ژئوفیزیکی است که شرایط مرزی را برای استفاده در شار گرمایی سطح مشترک (لایه‌ی مرزی) هوا- دریا مهیا می‌کند. در مقیاس جهانی دمای سطح دریاچه در مدل‌های جوی مطالعه‌ی تعادل گرمایی زمین، الگوها، و آنومالیهای گردشهای جوی و اقیانوسی مانند

^۱ Sea Surface Temperature

النینو مهم است. در مقیاسهای محلی SST می‌تواند برای بررسی و تشخیص پیچکها^۱ و فراجوشی^۲ و در مورد ناوبری و مسائل بیولوژیکی استفاده شود.

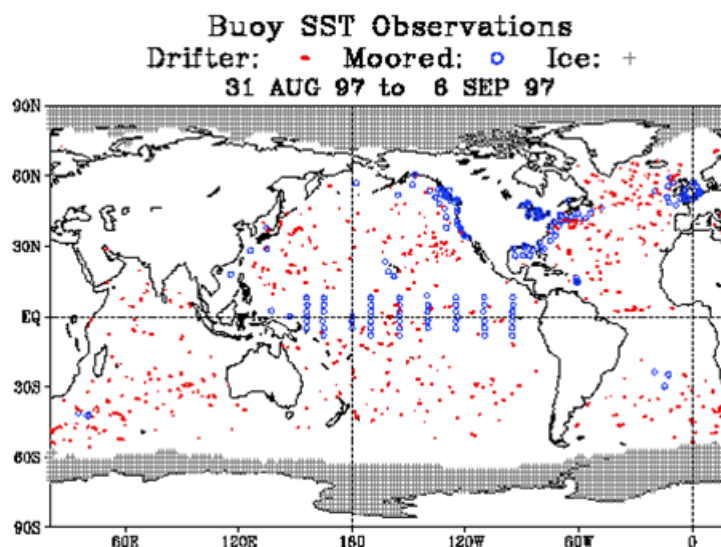
اکنون فناوری ماهواره به حدی رسیده است که به ما این امکان را می‌دهد SST را در سطح پوشش جهانی محاسبه کنیم. در گذشته SST فقط از طریق کشتیها و بویه‌ها که محدودیتهایی داشتند قابل اندازه‌گیری بود. در شکلهای ۱-۵ و ۱-۶ این نکته نشان داده شده است. روشهای اندازه‌گیری SST با دورسنجی ماهواره‌ای عبارت‌اند از رادیومتری با مادون قرمز حرارتی و میکروویو غیرفعال. هر دو روش مزایا و معایبی دارند.

اقلیم‌شناسان در مقوله‌ی تعیین دمای سطح دریاها به دقتی از مرتبه‌ی ۰/۳ کلوین (برنامه‌ی تحقیقات جوی ۱۹۸۲) احتیاج دارند، در حالی که اکنون بهترین دقت ممکن از مرتبه‌ی ۰/۶ کلوین است.



شکل ۱-۵ اندازه‌گیریهای SST توسط کشتیها (منبع ۲۷)

¹ eddy
² upwelling



شکل ۱-۶ اندازه‌گیریهای SST با بویه‌ها شناور و ثابت (منبع ۲۷)

۲-۱-۲ کلیات و هدف از اندازه‌گیری دمای آب

دمای آب یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های آب دریاست. مقدار مطلق و تغییرپذیری آن برحسب زمان در نقاط و اعماق مختلف دریا تعیین‌کننده‌ی شرایط امکان زیست، توسعه‌ی موجودات گیاهی و جانوری در محیط دریاست. همچنین، این عوامل تعیین‌کننده‌ی نوع و نحوه‌ی فعالیت انسان در دریاست.

رژیم دمایی مناطق ساحلی دریاچه مبتنی بر اندازه‌گیریهای مداومی است که در عمق ۵۰ سانتی‌متری آب در ایستگاههای مختلف انجام می‌شود. آمار و اطلاعات دمای آب در مطالعات و محاسبات اقیانوس‌شناسی - از جمله بیان حرارتی آب، روند توسعه‌ی اقلیم، آموزشهای دریانوردی، و جز آن - کاربرد دارد. در عین فعالیتهای دریاچه‌ای، برخی از ارگانها، مردم ساحل‌نشین و واحدهای پیش‌بینی‌کننده با این پارامتر ارتباط مستقیم دارند.

دمای آب لایه‌ی سطحی از نظر زمانی و مکانی تفاوت زیادی دارد. علت این اختلاف عوامل

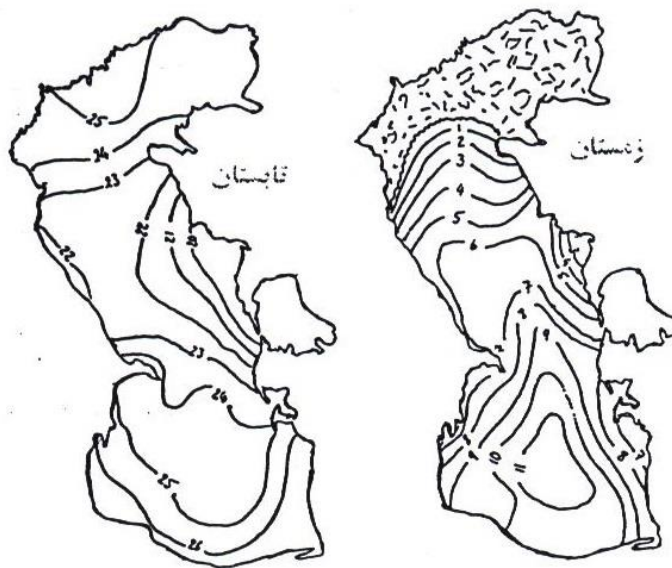
زیر است:

- جذب انرژی تابشی خورشید توسط دریاچه (گرم شدن)؛
- بازتاب انرژی حرارتی از دریاچه بخصوص در شبهای صاف (سرد شدن)؛
- تماس سطح آب دریاچه با هوای گرم‌تر یا سردتر (گرم یا سرد شدن)؛
- سرد شدن به هنگام وقوع پدیده‌ی تبخیر؛
- جابه‌جایی آبهای گرم‌تر لایه‌های بالایی با آبهای سرد لایه‌های پایینی و برعکس؛
- جابه‌جایی بر اثر ذرات سنگین‌تر آب سرد و جانشینی آن با آب سبک‌تر گرم تحت تأثیر امواج و جریانات دریاچه‌ای؛

۳-۱-۲ دمای آب دریاچه‌ی خزر

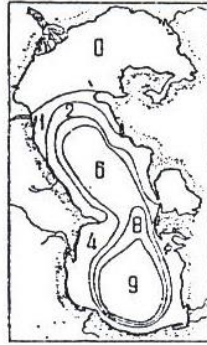
دمای سطح آب

میزان دمای سطح آب دریاچه‌ی خزر برحسب عرض جغرافیایی، عمق آب و میزان دمای هوا تغییر پیدا می‌کند. میزان دمای سطح آب دریاچه در خرداد به حداکثر می‌رسد. این دما در آخر مرداد در ژرفای ۵۰ متر، در دی در ژرفای ۱۰۰ متر، و در دی و بهمن در ژرفای ۲۰۰-۴۰۰ متر محسوس است. پس از این ژرفا، در میزان دمای آب تغییری جز در حد $0/2-0/1$ درجه دیده نمی‌شود. رژیم آب دریاچه‌ی خزر کاملاً مخصوص به خود است. دمای متوسط و سالیانه‌ی آب خزر شمالی ۱۱-۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است که ۱-۲ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر از آبهای اقیانوسی در همان عرض جغرافیایی است. این منطقه بسیار کم‌عمق است و ذخیره‌ی گرمایی آن نیز کم است. در این منطقه در زمستان آب همه‌جا به کف می‌رسد (شکل ۱-۷) و همراه با عمل یخ‌سازی است. در زمستانها سطح خزر شمالی با لایه‌ای از یخ پوشیده می‌شود و دمای آب در زیر طبقه‌ی یخ بالایی نزدیک به نقطه‌ی انجماد است. حداقل دمای آب در بهمن است که به ۰ تا $0/6-$ درجه‌ی سانتی‌گراد در زیر یخ و ۳-۴ درجه‌ی سانتی‌گراد در طبقات پایین‌تر می‌رسد.

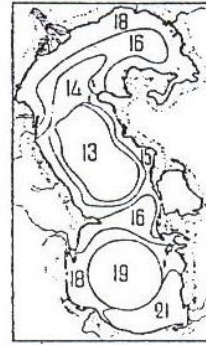


شکل ۱-۷ دمای سطح آب در تابستان و زمستان (منبع ۱۳)

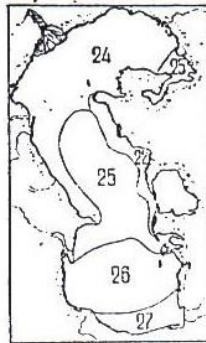
در فصل بهار هرچه به طرف ساحل برویم دمای آب کمتر می شود. قشر یخی به شدت ذوب می شود و از بین می رود. در تابستان آب دریاچه ۲۴-۲۶ درجه سانتی گراد گرم می شود. حداکثر مطلق آن ۳۰-۳۴ درجه سانتی گراد است. در منطقه ی ولگا به ۳۵-۳۷ درجه سانتی گراد می رسد. در فصل پاییز دمای آب ۱۰-۱۶ درجه سانتی گراد کاهش می یابد (شکل ۱-۸). در بخش خزر میانی در فصل زمستان دمای آب در طبقه ی بالای بریدگی ریوچی - کندرلی ۵-۶ درجه سانتی گراد و در عمق ۶۰۰ متری ۲/۴ درجه سانتی گراد است.



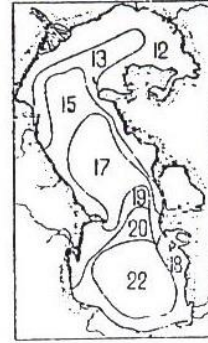
۱۲ بهمن - ۱۰ اسفند (فوریه)



۱۱ اردیبهشت - ۱۱ خرداد (مه)



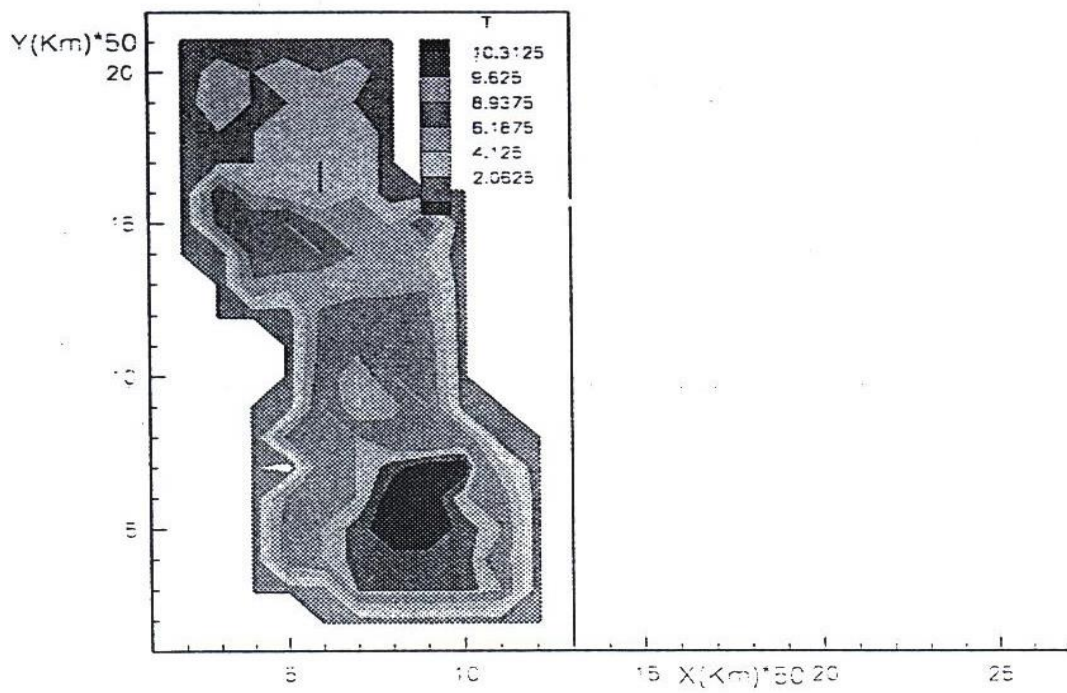
۱۰ مرداد - ۱۰ شهریور (اوت)



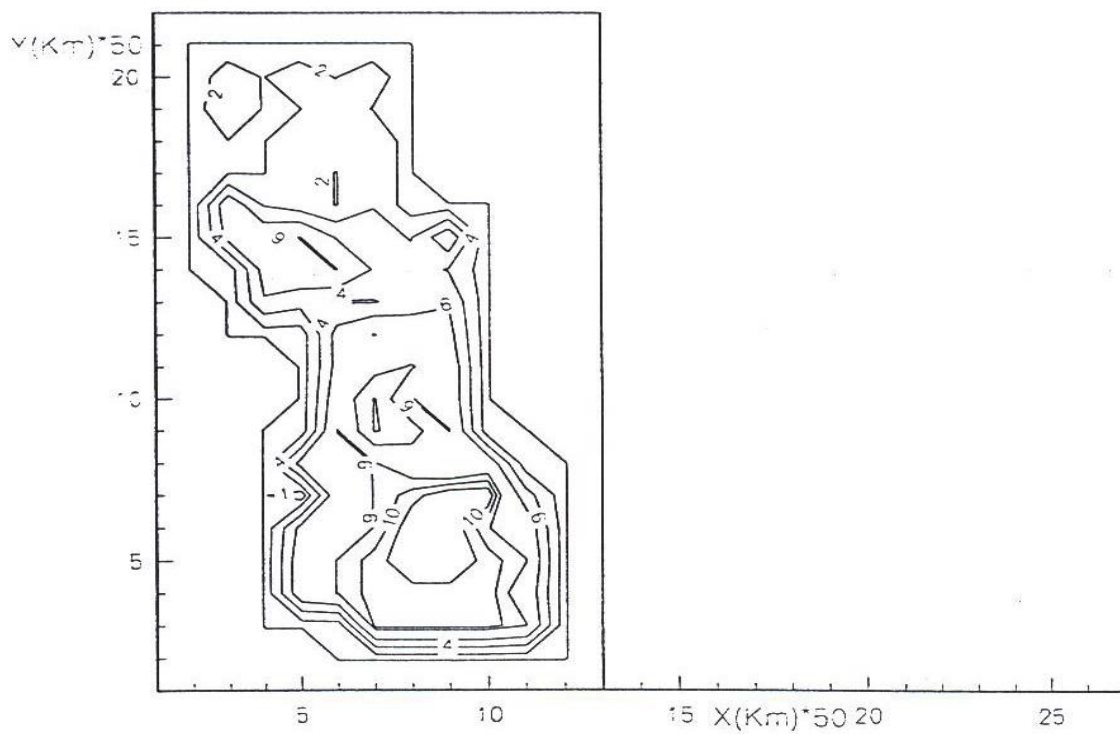
۹ آبان - ۱۰ آبان (اکتبر)

شکل ۱-۸ دمای سطح آب دریاچه ی خزر در چهارماه سال (منبع ۱۳)

دمای آبهای قسمت وسیعی از بریدگی که روی برجستگی آبشرون قرار دارد ۹ درجه سانتی گراد در سطح تا ۶/۷ درجه سانتی گراد در کف است. باید توجه داشت که دمای آب در سواحل غربی تا ۳/۵ درجه سانتی گراد کاهش و در سواحل شرقی تا ۸/۳ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. علت این امر این است که در امتداد ساحل غربی و در طبقات برجستگی آبشرون آبهای سرد منطقه ی شمال دریاچه به طرف جنوب در حرکت اند. در خزر میانی در بهار دمای طبقه ی بالای آب از ۱۲-۵/۷ درجه سانتی گراد تغییر می کند. در مناطق باز آن دما کمی پایین تر از سواحل است. در شکل ۱-۹ منحنیهای هم دما در فصل زمستان رسم شده اند.



TEMPERATURE SURFACE AT WINTER



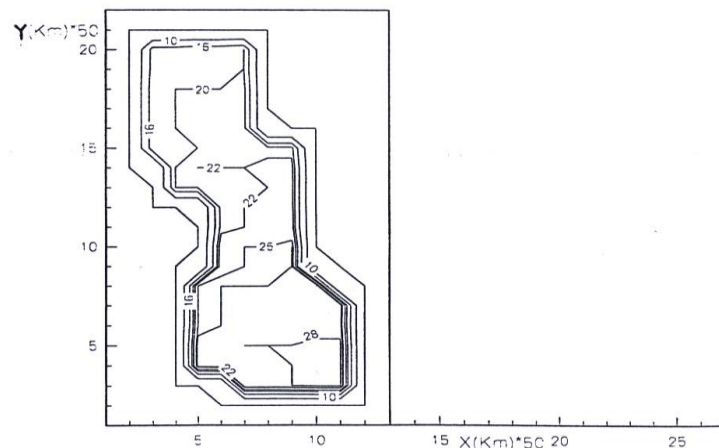
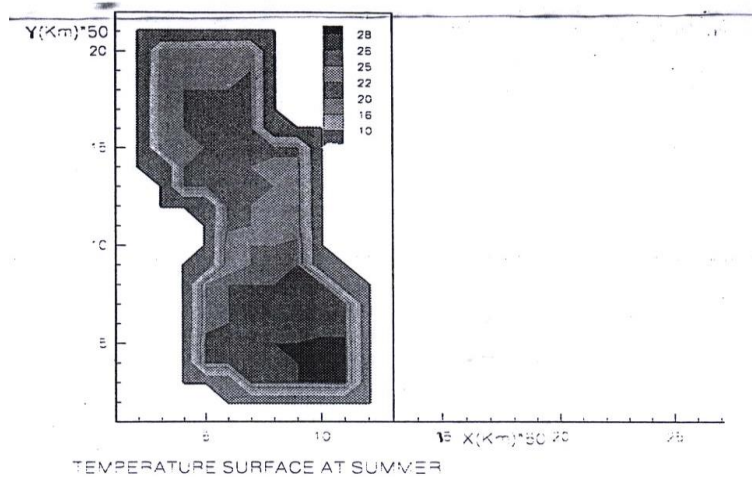
شکل ۹-۱ نمونه‌ای از دمای سطح دریاچه‌ی خزر در زمستان از مشاهدات (منبع ۱۳)

در فصل تابستان دمای آب از ۱۰-۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد متغیر است. در فصل پاییز دما در طبقات بالای خزر میانی به ۱۵-۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. همچنین، در آبان دمای آب منطقه‌ی شمالی بخش خزر میانی ۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و در منطقه‌ی برجستگی آبشرون ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. در فصل زمستان در طبقه‌ی بالایی بخش خزر جنوبی (۰-۲۰۰ متری) طبقه‌بندی عمودی دما حفظ می‌شود. در این منطقه دما از ۹ به ۷ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش می‌یابد و در طبقات پایین‌تر تا کف دریاچه به ۵/۷-۵/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد تنزل می‌یابد. در فصل بهار دما در بخش وسیعی از طبقه‌ی بالای خزر جنوبی ۱۲-۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است. در امتداد ساحل غربی دریاچه دما ۲۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر از ساحل شرقی است. در تابستان دمای آب در طبقه‌ی بالایی به ۲۶-۲۸ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد. در پاییز دما به ۱۲-۱۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و در اعماق ۳۰-۸۰ متری به ۹ درجه‌ی سانتی‌گراد تنزل می‌یابد (شکل ۱-۱۰).

رژیم حرارتی خزر شمالی و مناطق کم‌عمق خزر میانی و جنوبی در تمام مدت سال برای زیست موجودات آبی مساعد است. به این دلیل این مناطق از دریاچه در زیست ماهیان شیلاتی نقش مهمی دارند. در مناطق عمیق دریاچه به سبب پایین بودن دمای آب (۴-۶ درجه‌ی سانتی‌گراد) بهره‌دهی جانوران کفزی بسیار کم است. به طور کلی، در اینجا گونه‌های جانوری قطب شمال وجود دارند که در افزایش ذخایر ماهیان دریاچه‌ی خزر نقش اساسی ندارند.

۴-۱-۲ شوری

آب دریا را می‌توان به مثابه‌ی محلول آبی که دارای املاح مختلف است بررسی کرد. دامنه‌ی تغییرات غلظت کلی مواد جامد محلول در آب اقیانوسها محدود و بین ۳۰-۳۷ گرم در لیتر تغییر می‌کند. در دریاها شوری بر حسب شرایط محلی ممکن است از چند تا ۴۰-۵۰ گرم/لیتر تغییر کند، ولی نسبت یونهای اصلی که تعیین‌کننده‌ی خواص فیزیکی آب دریا (و اقیانوسها) هستند ثابت می‌مانند. بدیهی است مناطقی که در جوار مصب رودخانه‌ها قرار دارند و جریانهای ورودی (آب شیرین) بر آنها اثر می‌گذارند از این قاعده مستثنی هستند. از نظر مقدار شوری (ترکیبات املاح) آب دریاچه‌ها با آب رودخانه‌ها تفاوت بسیار دارد. ثابت بودن ترکیبات آب اقیانوسها این امکان را می‌دهد تا مقداری شوری کلی از طریق محاسبه‌ی یکی از عناصر تعیین شود.



شکل ۱-۱۰ نمونه‌ای از دمای سطح دریاچه‌ی خزر در تابستان از مشاهدات (منبع ۱۳)

در اقیانوس‌شناسی، شوری آب دریا عبارت است از وزن کل همه‌ی مواد جامد محلول برحسب گرم در ۱ کیلوگرم آب دریا که به صورت جزء در هزار (‰) بیان می‌شود. برای تحقق این تعریف شرایطی اعمال می‌شود که در آن کلیه‌ی مواد جامد در ۴۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تا وزن ثابتی خشک و مواد عالی کاملاً سوزانده می‌شوند. به جای برمورها و یدورها، کلر قرار می‌گیرد. کربنات هم اکسیده می‌شوند. بدین ترتیب شوری، شاخصی شرطی خواهد بود که نمایانگر مقادیر مطلق املاح

محلول در آب نیست بلکه قدری کمتر از آن است. شوری یکی از مشخصه‌های اصلی است که تعیین‌کننده‌ی وزن‌آب، تراکم‌جریان، توزیع موجودات دریایی، و فعالیتهای بیولوژیکی در دریاها و اقیانوسهاست.

روشهای تعیین شوری

۱. روش فیزیکی: اندازه‌گیری چگالی (وزن مخصوص) نمونه‌ی آب دریاچه
۲. روش شیمیایی (آرگنومتری): تعیین مقدار کلر در نمونه‌ی آب دریاچه از طریق عیارسنجی با مایع نیترات نقره و محاسبه‌ی شوری طبق فرمول یا جدول مربوط
۳. روش الکترومتری: تعیین هدایت الکتریکی آب دریاچه و تعیین شوری از روی آن
۴. روش دورسنجی: مساحی شوری آب با استفاده از تصاویر هوایی

۲-۱-۵ شوری آب دریاچه‌ی خزر

شوری در سطح دریاچه‌ی خزر

شوری آب دریاچه‌ی خزر به میزان تبخیر آب، رسوبات، و مقدار آبی که از رودخانه‌ها می‌رسد، جریانهای دریاچه‌ای، بادهای و یخبندان بستگی دارد. مقدار نمک آب دریاچه‌ی خزر در قسمت‌های مختلف آن یکسان نیست. از جمله قسمت‌هایی که مقدار نمک آن زیادتر است خلیج‌های خاوری بویژه خلیج قره‌بغاز است که میزان نمک آب آن از ۲۰ تا ۳۰٪ نیز تجاوز می‌کند. مقدار املاح مختلف آب دریاچه‌ی خزر بستگی به آب رودخانه‌هایی دارد که به آن می‌ریزند. همچنین به آبرفتها و نمک‌هایی بستگی دارد که با باد از مناطق شور خشکی آورده می‌شوند.

جدول ۱-۱ ترکیب شیمیایی آبهای دریاچه‌ی خزر، اقیانوس، و دریای سیاه (به درصد)

عناصر	دریاچه‌ی خزر	اقیانوس	دریای سیاه
سدیم	۲۴/۸۲	۳۰/۵۹	۳۱/۳۴
پتاسیم	۰/۶۶	۱/۱۱	۱/۰۰
کلسیم	۲/۷۰	۱/۲۰	۱/۳۰
منیزیم	۵/۷۰	۳/۷۲	۳/۷۹
کلر	۴۱/۷۳	۵۵/۲۹	۵۵/۲۴
برم	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۸
سولفاتها	۲۳/۴۹	۷/۶۹	۷/۴۸
اسید کربنیکها	۰/۸۴	۰/۲۱	-
مقدار متوسط شوری (جزء در هزار)	۱۲/۸	۳۵/۰	۱۷/۳-۲۲/۲

مقدار نمک آب دریاچه‌ی خزر به تناسب بعضی املاح با آب اقیانوسی و دریای سیاه تفاوت دارد (جدول ۱-۱). آب دریاچه‌ی خزر از یونهای سدیم و کلر نسبتاً فقیر و از یونهای کلسیم و سولفاتها در مقایسه با اقیانوسها غنی است. مقدار متوسط شوری آب دریاچه‌ی خزر ۱۲/۸۰-۱۲/۸۵ جزء در هزار است که نوسان آن از ۳ جزء در هزار در مصب ولگا تا ۲۰/۳ جزء در هزار در خلیج بالخان است. مقدار شوری در خلیج قره‌بغاز تا ۳۵۰ جزء در هزار می‌رسد. مقدار متوسط شوری در خزر شمالی در سال از ۶/۴-۱۱/۷ جزء در هزار در نوسان است. در قسمت غربی آن مقدار نمک آب در بهار ۹/۲۸ جزء در هزار، در تابستان ۵/۵۸-۹/۲۱ جزء در هزار و در پاییز ۹/۸۶ جزء در هزار است. در قسمت شرقی خزر شمالی مقدار شوری بر اساس فصول سال از ۸/۰۹-۸/۷۸ جزء در هزار متغیر است. در زمستان به دلیل تشکیل یخ و کاهش آب رودخانه‌ی ولگا مقدار شوری آب خزر شمالی افزایش می‌یابد.

در بریدگی ریوچی-کندرلی خزر شمالی مقدار شوری آب در فصل زمستان ۱۳/۰ جزء در هزار است. ضمناً در قسمت شرقی بریدگی آب شورتر است؛ یعنی، در عمق ۴۰۰ متری مقدار شوری ۱۳/۲ جزء در هزار است. اما، در سواحل غربی مقدار شوری ۱۲/۸ جزء در هزار است. علت آن

پیشرفت آبهای شیرین شده‌ی خزر شمالی به طرف جنوب است.

در منطقه‌ی برجستگی آبشرون مقدار نمک آب حدود ۱۲/۹ جزء در هزار است. در بهار مقدار شوری در سواحل غربی بخش خزر میانی حدود ۱۲/۵-۱۲/۹ جزء در هزار و در سواحل شرقی آن ۱۲/۹-۱۳/۱ جزء در هزار است. در قسمتهای مرکزی مقدار شوری از ۱۳ جزء در هزار نیز بالاتر است. در تابستان در خزر میانی مقدار شوری غالباً ۱۳ جزء در هزار است. در پاییز مقدار شوری در سطح وسیعی به ۱۲/۵-۱۲/۹ جزء در هزار تنزل می‌یابد و فقط در منطقه‌ی مجاور خلیج قره‌بغاز مقدار شوری ۱۳ جزء در هزار است.

در خزر جنوبی مقدار شوری آب در فصل زمستان ۱۳/۱ جزء در هزار و فقط در طبقه‌ی بالایی ۱۲/۹ جزء در هزار است. در بهار در این منطقه از دریاچه مقدار شوری اغلب ۱۲/۸-۱۲/۹ جزء در هزار است. اما، مقدار شوری در سواحل غربی تا ۱۲/۶ جزء در هزار کاهش و در سواحل شرقی تا ۱۳ جزء در هزار افزایش می‌یابد. در تابستان در عمق ۰-۵۰۰ متری مقدار شوری ۱۲/۹-۱۳ جزء در هزار و در اعماق ۶۰۰-۸۰۰ متری ۱۳/۱ جزء در هزار است. در پاییز مقدار شوری آب در خزر جنوبی از ۱۲/۹-۱۳/۲ جزء در هزار در نوسان است.

در سالهای اخیر به علت افزایش جریانهای یونیک رودخانه‌ها ورود املاح به دریاچه افزایش یافته است. مقدار یون موجود در آب ولگا، که بیشتر از ۸۰٪ آبهای ورودی رودخانه‌ای دریاچه‌ی خزر را تشکیل می‌دهد، در ۴۰ سال اخیر به ۱/۵ برابر افزایش یافته و به ۲۰۰-۳۰۰ میلی‌گرم/لیتر رسیده است. بنابراین در حالت معمولی، سالیانه ۲۳۰ کیلومتر مکعب آب به دریاچه‌ی خزر می‌ریزد که هر سال ۲۳ میلیون تن املاح بیشتر از سالهای قبل وارد دریاچه می‌کند.

شدت تبخیر آب دریاچه در کرانه‌های خاوری نیز در افزایش مقدار شوری در این کرانه بی‌تأثیر نیست. مقدار شوری آب دریاچه در هر فصلی نیز نسبت به فصل دیگر تفاوت دارد. علت آن نیز نوسانات جریان داخلی سالیانه و پیدایش یخ و آب‌شدن این یخها در بخش شمالی دریاچه و نیز شدت و ضعف تبخیر دریاچه است. نوسانات در مقدار شوری آب در بخش شمالی دریاچه به خوبی دیده می‌شود. این نوسانات در بخشهای میانی و جنوبی نیز محسوس است (طبق بررسیهای س. و. بورویچ، ۱۹۷۳، نوسانات و تغییرات مزبور به میزان ۰/۱۷-۰/۲۱ جزء در هزار می‌رسد).

در زمستان مقدار شوری آب دریاچه در بخشهای شمالی و میانی افزایش می‌یابد. علت این

افزایش در این فصل، کاهش جریان آب شیرین رودخانه‌ها و منجمدشدن بخش شمالی دریاچه است (البته باید توجه داشت که یخهای دریاچه از آب شیرین است). در همین فصل مقدار شوری آب دریاچه در بخش جنوبی به علت کم شدن تبخیر آب اندکی کاهش می‌یابد.

در بهار با وجود آب شدن یخها و جریان شدید رودخانه‌ها، مقدار شوری آب به همان منوال فصل زمستان، تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند و ذوب یخها در مقدار شوری آب دریاچه تأثیر محسوس و مهمی ندارد.

در فصل تابستان که نسبت به فصل بهار به بخشهای شمالی و میانی دریاچه مقادیر بیشتری آب شیرین رودخانه‌ها ریخته می‌شود، مقدار شوری آب در این دو بخش دریاچه کاهش می‌یابد. در همین هنگام در بخش جنوبی تبخیر شدید آب دریاچه مقدار شوری در سطح دریاچه را بالامی‌برد.

جریان آب رودخانه‌ها در بخش جنوبی دریاچه، که همان کرانه‌های ایران است، به علت کم بودن مقدار آب شیرینشان، هیچ اثری در پایین آمدن مقدار شوری آب دریاچه ندارند. معمولاً پس از پایان جریانهای سیلابی و شدید رودخانه‌ها ریزش آب شیرین رودخانه‌ها به دریاچه کاهش می‌یابد و بر مقدار شوری آب در سطح بخشهای میانی و جنوبی افزوده می‌شود.

در پایان فصل تابستان آب نسبتاً شورتر کرانه‌های شرقی بخش جنوبی دریاچه که به شمال می‌رود بر مقدار شوری سطحی بخش میانی دریاچه می‌افزاید. در پاییز مقدار شوری آب بخش شمالی و میانی دریاچه، به علت کم شدن جریان آب شیرین رودخانه‌ها و نیز جریان شور بخش جنوبی دریاچه به بخش میانی، افزایش می‌یابد. در همین هنگام مقدار شوری آب بخش جنوبی، به علت کم شدن تبخیر آب، در سطح تنزل می‌یابد.

تقسیم شوری آب و انتشار آن در طبقات مختلف دریاچه از سطح به قعر تقریباً یکنواخت است. تغییراتی بسیار جزئی و ناچیز در مقدار شوری در اعماق دریاچه دیده می‌شود. غالباً با افزایش عمق مقدار شوری هم اندکی بالا می‌رود. گاهی هم مقدار شوری در طبقات بالایی و در سطح دریاچه نسبت به طبقات پایینی بیشتر است. ممکن است مقدار شوری در طبقات میانی دریاچه نسبت به طبقات بالا و پایین افزایش نشان دهد. البته، این تفاوتها اندک و ناچیزند. مناطقی از دریاچه که تحت تأثیر جریان آب شیرین رودخانه‌ها قرار دارند بیشتر در معرض تغییر مقدار شوری به طور عمودی واقع‌اند. در مناطقی از دریاچه که عمق کم به عمق زیاد تبدیل می‌شود نیز مقدار شوری متغیر است.

چون تغییرات مقدار شوری آب دریاچه به طور عمودی به مقدار آب شیرین، نفوذ و انتشار این آب، و جهت و مدت وزش باد در دریاچه بستگی دارد، این قبیل تغییرات همیشه مداوم نیستند. مناطقی که بیشتر تحت تأثیر تغییرات مقدار شوری آب در اعماق قرار می‌گیرند همان کرانه‌های غربی بخش شمالی دریاچه است که آب شیرین فراوانی از رودخانه‌ها به آن وارد می‌شود. در بخش میانی و جنوبی مقدار شوری حتی در اعماق زیاد نیز بسیار اندک تغییر می‌کند. این خود از خصوصیات دریاچه‌ی خزر است که نشان‌دهنده‌ی این است که آبهای طبقات مختلف این دریاچه از سطح تا عمق به خوبی با هم مخلوط می‌شوند.

در فصل زمستان نیز شوری آب از سطح دریاچه تا عمق اندکی تغییر می‌کند. خلاصه اینکه تغییرات عمده در مقدار شوری آب سطح دریاچه در بخش شمالی و از این بخش به سمت جنوب یکنواختی مقدار شوری در بخش میانی و بخش جنوبی و بالاخره تغییرات جزئی در مقدار شوری آب اعماق زیاد این دریاچه، در مجموع، در بسیاری از جریاناتی که در این دریاچه وجود دارد اثر می‌گذارد.

۲-۱-۶ وزن مخصوص

بنا به تعریف، وزن مخصوص عبارت است از جرم واحد حجم و از رابطه‌ی $D = M/V$ محاسبه می‌شود. در اقیانوسها وزن مخصوص آب در مواضع و اعماق مختلف یکسان نیست. نمونه‌های یک لیتری که از آب اقیانوس اطلس شمالی و سواحل لانگ‌آیلند و یک دریاچه برداشت شده نشان داده است که آب اقیانوس اطلس سنگین‌ترین و آب سواحل لانگ‌آیلند بعد از آن و آب دریاچه سبک‌ترین این سه بوده است. این اختلاف وزن به علت متفاوت بودن وزن مخصوص نمونه‌هاست. بدین ترتیب، وقتی آب اقیانوسها با آب شیرین یا آب با شوری کمتر مواجه می‌شود، بر حسب وزن مخصوص روی هم انباشته می‌شوند. آنهایی که بالاترین وزن مخصوص را دارند، در زیر قرار می‌گیرند و کمترینها در بالای دسته‌ی گفته شده استقرار می‌یابند. به همین دلیل است که در فاصله‌های نسبتاً دوری در زیر آب رودخانه‌ها، می‌توان آب شور یافت.

یکی از عوامل مؤثر بر وزن مخصوص، دمای توده‌ی آب است. دلیل آن نیز کم بودن حرکت ملکولی آب در دمای پایین‌تر، مجاورت نزدیک ملکولها و ایجاد بند هیدروژنی و در نتیجه کم شدن

حجم و ازدیاد وزن مخصوص است. اما، آب دریاچه، برخلاف آبهای شیرین، بالاترین وزن مخصوص را در ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد ندارد. هر چه دما کاهش یابد، وزن مخصوص افزایش می‌یابد. آب به هنگام یخ‌زدن مواد خارجی را از ساختمان بیرون می‌راند و در نتیجه هرچه مقدار یخ زیادتر شود، مواد خارجی در قسمت یخ‌نزده افزایش نشان می‌دهد. به علاوه، رابطه‌ی مستقیمی بین نقطه‌ی انجماد و شوری وجود دارد. هرچه مقدار مواد حل‌شده در آب مایع افزایش یابد، به همان نسبت نقطه‌ی انجماد کاهش می‌یابد.

به این ترتیب، شوری آب دریاچه در بالا و پایین نقطه‌ی انجماد معمولی مستقیماً تحت تأثیر دمای ستون آب قرار دارد. همچنین وزن مخصوص سیستمهای دریایی مستقیماً به دما و شوری و روابط بین آنها بستگی دارد.

در مناطق عمیق اقیانوسها، علاوه بر دما و شوری، فشار هم عامل مؤثری بر وزن مخصوص است. در این نواحی به دلیل فشار بسیار زیاد آبهای بالای سر، ملکولهای آب از حد معمول به هم نزدیک‌ترند. به این ترتیب، در حجم کمتر تعداد ملکولهای بیشتری وجود دارد، در نتیجه حجم توده افزایش می‌یابد، و وزن مخصوص هم زیادتر خواهد شد.

چگالی آب دریاچه به شوری و دمای آب بستگی دارد. اگر دما ثابت باشد، چگالی به طور استثنا به شوری بستگی می‌یابد و وزن مخصوص نامیده می‌شود. بنابراین، چگالی همان جرم واحد حجم است. لذا، در اقیانوس‌شناسی وزن مخصوص را چگالی نیز می‌نامیم.

بنابراین، چگالی (وزن مخصوص) آب دریاچه به شوری و دما بستگی دارد. هرچه شوری بیشتر باشد، چگالی هم بیشتر است، و برعکس. وابستگی چگالی به دما پیچیده‌تر است. در دید کلی، افزایش دما چگالی را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، این امر در دمای بالا بیشتر از دمای پایین نمود دارد.

در حقیقت، دانستن چگالی آب دریاچه و شوری در موارد زیر ضروری است:

۱. در هنگام بارگیری کشتی، چگالی آب در نزدیکی اسکله و در مسیر باید محاسبه شود تا کشتی اضافه بار نداشته یا کمتر از ظرفیت بارگیری نکرده باشد.
۲. شرایط زیستی ماهیها و دیگر جانوران دریایی - از جمله صدفها، جلبکها، و موجودات دیگر - به رژیم دما بستگی دارد. بنابراین، اطلاع از چگالی، شوری، و دما برای

شیلات، سازه‌های دریایی، و سازمانهای دیگر اهمیت دارد.

۳. سرعت انتشار صوت در دریاچه بر حسب عمق نیز به چگالی آب دریاچه بستگی دارد. در ایستگاههای دریایی و ساحلی که امکان ترکیب آب دریاچه با رودخانه با شوری بسیار متفاوت وجود دارد، بهتر است ابتدا چگالی آب و از روی آن شوری را تعیین کرد. مزیت تعیین چگالی در این است که انجام کارهای محاسباتی در قسمت ساحلی و آب سطحی بدون استفاده از مواد گران‌قیمت با دقت بسیار صورت می‌گیرد.

۷-۱-۲ چگالی دریاچه‌ی خزر

مقدار چگالی با توجه به شوری و دما، بدون در نظر گرفتن اثر فشار، محاسبه می‌شود و به صورت σ_t sigma-T بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب به دست می‌آید. با توجه به وضعیت شوری و دما در اعماق که اثر آن را می‌توان به خوبی در چگالی مشاهده کرد، بخشهای میانی همواره آبی شورتر با دمای کمتر و چگالی بیشتر دارند. ضمناً بخش غربی با داشتن آب عمقی شورتر و دمای پایین، حاوی آب سنگین‌تری است. به جز در بخش سطحی تا حدود ۵۰ متر که خطوط هم‌چگالی^۱ در مقطع شمالی- جنوبی با یکدیگر موازی نیستند، اکثر خطوط هم‌چگالی در اعماق زیاد موازی یکدیگرند. چنانچه خطوط هم‌چگالی با اختلاف چندصدم از یکدیگر رسم شوند، به نظر می‌رسد که در شرایط خاصی در اعماق حدود ۴۵۰-۵۰۰ متر بسیار به هم نزدیک می‌شوند و شیب آنها نسبت به هم معکوس است که توجه آن نیاز به بررسیهای بیشتر دارد.

۸-۱-۲ مروری دیگر بر جریانهای دریاچه‌ی خزر

چرخش هوا، پراکنش غیریکنواخت آب در بعضی مناطق دریاچه، جریان آب رودخانه‌ها، نمای خارجی سواحل، توپوگرافی کف دریاچه‌ها، و جز آن عوامل اصلی و تأثیرگذار در رژیم جریانهای دریاچه‌ی خزرند. بادهایی ساحلی باعث ایجاد جریانهای سطحی، و تغییرات غلظت آب دریاچه باعث ایجاد جریانهای گرانی می‌شوند. در مناطق جلوی رودخانه‌ی ولگا و کورا به دلیل ورود آب به دریاچه جریانهای ناشی از این ریزش ایجاد می‌شود. وزش بادهای طولانی و شدید شمال غربی در

^۱ Isopycnal

منطقه‌ی جنوبی دریاچه موجب بالا آمدن سطح آب می‌شود. در نتیجه، بعد از قطع باد جریان جبرانی به طرف شمال به وجود می‌آید. بادهای شدید جنوبی سطح آب را در بخش شمالی دریاچه افزایش می‌دهد. بعد از تغییر جهت باد، آب به طرف جنوب حرکت می‌کند و جریانها در طول ساحل غربی بخش جنوبی شدت می‌یابند.

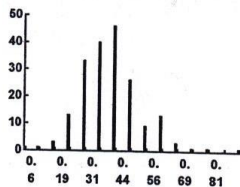
باد در ایجاد جریانها در طبقات بالایی آب نقش اصلی دارد. تغییرات چگالی آب باعث حرکت عمقی آن می‌شود. در مناطق کم‌عمق، جهت جریانهای ناشی از باد با جهت باد هماهنگ است. در مناطق عمیق جریانهای ناشی از باد تقریباً ۴۵ درجه به طرف راست و زش باد منحرف می‌شوند. نقشه‌ها و نمونه‌هایی از جریانهای سطحی در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده‌است. چنین جریانهایی اغلب در زمان آرامش دریاچه و در هنگام بادهای ضعیف وجود دارند.

جریانهای جلوی مصب ولگا از جریان آن رود، باد، و اختلاف مقیاس سطح در نواحی مختلف خزر شمالی ایجاد می‌شود. در مناطق کم‌عمق مصب ولگا، جریانهایی که ناشی از حرکت جریان رود است وجود دارد. از قسمت بالا تا بستر جریان گرانی نیز وجود دارد. آبهای ولگا در کنار ساحل به دو دسته‌ی غربی و شرقی تقسیم می‌شوند. جریان شرقی به آبهای اورال متصل می‌شود و جریان دورانی بسته‌ای را به وجود می‌آورد. قسمت اصلی جریان ولگا در طول ساحل غربی به سمت جنوب حرکت می‌کند.

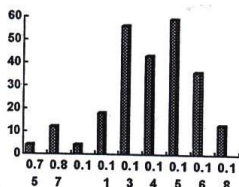
در خزر میانی جریان آبی که از خزر شمالی می‌آید در امتداد ساحل غربی به طرف جنوب شرقی حرکت می‌کند. قسمت اصلی این جریان به خزر جنوبی وارد می‌شود و قسمت فرعی آن قبل از شبه‌جزیره‌ی آبشرون به طرف شرق می‌پیچد، از عرض دریاچه می‌گذرد، و به جریانی که در امتداد ساحل به طرف شمال غربی می‌رود متصل می‌شود. بدین ترتیب، در خزر میانی جریانی دورانی تشکیل می‌شود که حرکت آن برخلاف جهت عقربه‌های ساعت است.

طرف جنوب غربی و جنوب می‌روند. این آبها کم‌کم به طرف شرق می‌پیچند و جریان اصلی، مسیر خود را در امتداد ساحل جنوبی دریاچه به طرف شرق ادامه می‌دهد و قبل از اینکه به نواحی کم‌عمق ساحل شرقی برسد، به طرف شمال حرکت می‌کند. در جنوب جزیره‌ی اگورچینسکی قسمتی از این جریان به تدریج به طرف شمال غربی متمایل می‌شود و به جریان منطقه‌ی غربی دریاچه می‌پیوندد. بدین ترتیب، در نیمه‌ی شرقی بخش جنوبی دریاچه، جریان دورانی به وجود می‌آورد که

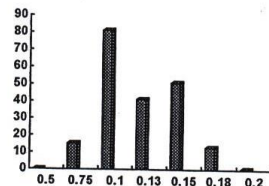
در سطح دریاچه‌ی خزر دارد. آب رود ولگا نیز بر سرعت جریان خزر شمالی اثر دارد. در خزر میانی بین ناحیه‌ی ماخاچ‌کالا و شبه‌جزیره‌ی آبشرون سرعت جریان ۳۰-۱۰۰ سانتی‌متر بر ثانیه است. در منطقه‌ی نزدیک ساحل بین جریان اصلی و ساحل، جریانهای ضعیفی با سرعت ۱۰-۱۵ سانتی‌متر بر ثانیه وجود دارد. در قسمت غربی بخش خزر میانی سرعت جریان هنگام بادهای ضعیف، ۱۰-۲۰ سانتی‌متر بر ثانیه و هنگام بادهای ملایم ۳۰ سانتی‌متر بر ثانیه و هنگام بادهای شدید ۴۰-۵۰ سانتی‌متر بر ثانیه است. در قسمت شرقی بخش جنوبی سرعت جریان ۱۰-۳۰ سانتی‌متر بر ثانیه است. شکل ۱-۱۲ نشان‌دهنده‌ی فراوانی سرعت جریان در شهریور ماه بر حسب متر بر ثانیه است.



نمودار فراوانی سرعت جریان در خردادماه بر حسب متر بر ثانیه



نمودار فراوانی سرعت جریان در شهریورماه بر حسب متر بر ثانیه



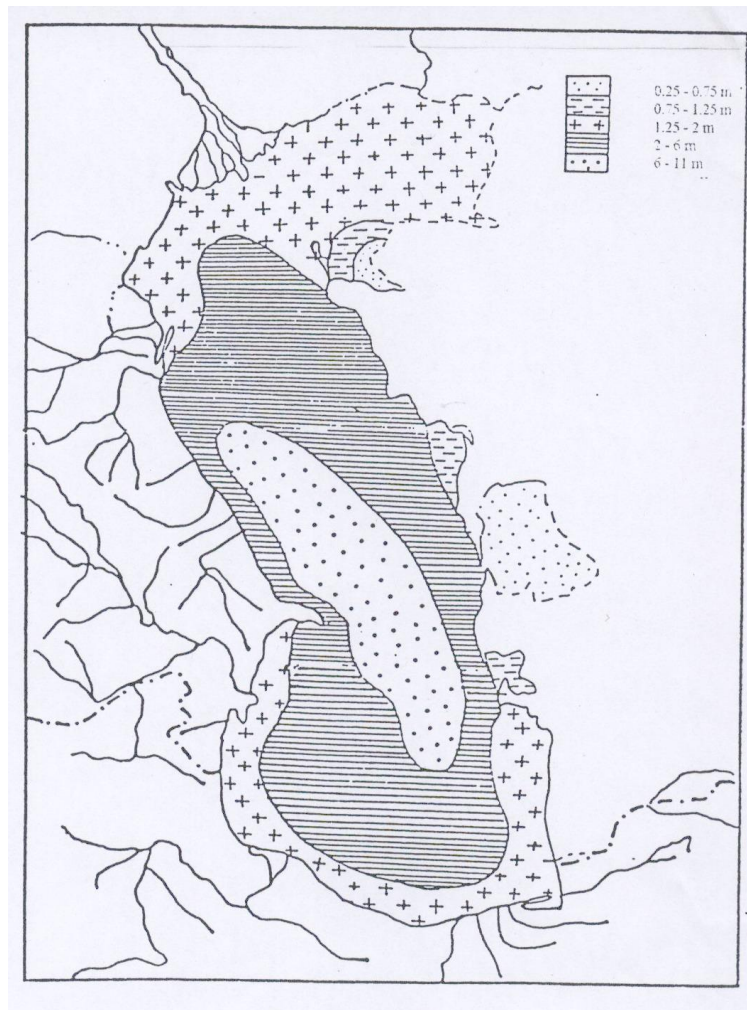
نمودار فراوانی سرعت جریان در مهرماه بر حسب متر بر ثانیه

شکل ۱-۱۲ نمودار فراوانی سرعت جریان (منبع ۱۳)

۲-۱-۹ امواج دریاچه‌ی خزر

دریاچه‌ی خزر یکی از دریاچه‌های ناآرام است. در این دریاچه هنگام بادهای شدید امواج خیلی سریع توسعه پیدا می‌کند و خصوصیات بی‌قاعده‌ای دارد. بعضی اوقات تبدیل به امواج خیلی بزرگ می‌شود. در خزر میانی و جنوبی امواج کوتاه- امواج ناشی از باد- در رژیم امواج دریاچه نقش مهمی دارند. ناآرام‌ترین زمان از آبان تا اسفند است. آرام‌ترین زمان از خرداد تا آبان است. به دلیل کم‌عمق بودن خزر شمالی و وجود یخها در هنگام زمستان، امواج بلند در آن وجود ندارد. حداکثر ارتفاع امواج در این منطقه ۴ متر است. چنین امواجی در فصل پاییز و زمستان دیده می‌شوند. به طور کلی، ارتفاع امواج در این منطقه کمتر از ۲ متر است. در خزر میانی و جنوبی امواج از سمت شمال غربی و شمال مشاهده شده‌اند.

ناآرام‌ترین منطقه‌ی دریاچه کامن‌نفتی و منطقه‌ی شمال غربی آن است. در اینجا باد غالباً از دو جهت شمالی و شمال غربی می‌وزد. حداکثر سرعت باد در این منطقه ۴۰ متر بر ثانیه است. به طور متوسط ۵۰ روز در سال توفانی است. بیشتر توفانها در زمستان رخ می‌دهد. ۱۷۰ روز در سال دریاچه موج‌دار است که حدود ۱۰۰ روز آن در زمستان اتفاق می‌افتد. در منطقه‌ی کامن‌نفتی غالباً امواج گوناگونی وجود دارند و امواج کوتاه در آن بندرت به چشم می‌خورند. در مناطق دریاچه‌ی خزر ارتفاع امواج هنگام توفان به ۷-۸ متر می‌رسد و طول آن بعضی اوقات از ۱۰-۲۰ برابر ارتفاع آن تجاوز می‌کند. وزش بادهای شدید در مناطق عمیق امواج بزرگی را پدید می‌آورد. بادهای شمالی با سرعت ۲۵ متر بر ثانیه امواجی را به وجود می‌آورند که ۲۰۰ متر طول و ۱۱-۱۲ متر ارتفاع دارند. این حداکثر بزرگی امواجی است که بندرت در این دریاچه ظاهر می‌شوند. شکل ۱-۱۳ بلندی امواج و جهت آنها را در دریاچه‌ی خزر نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۳ توزیع ارتفاع امواج در دریاچه‌ی خزر (منبع ۱۳)

۱-۲-۱۲ دمای آب طبقات پایین دریاچه‌ی خزر و نوسان آن در طول سال

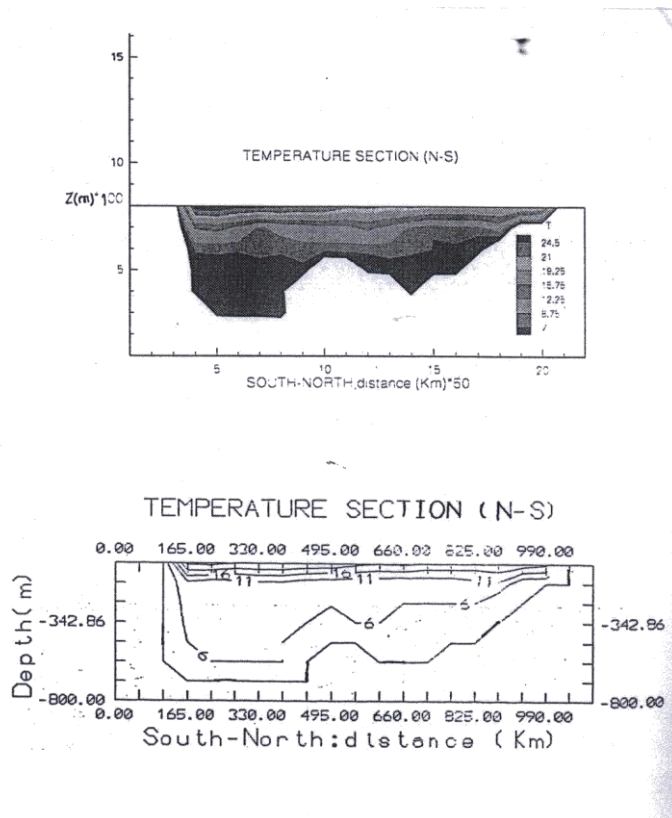
ضمن گرم شدن طبقات زیرین مقداری انرژی گرمایی مصرف می‌شود. لذا، طبیعی است که طبقات عمیق دریاچه دمای اولیه یا دمای سطح دریاچه را ندارند. بررسی‌های پروفیسور کنی پوپچ نشان می‌دهد که دمای آب در اعماق مختلف بخش میانی در زمانهای زیر به حداکثر رسیده است:

- دمای سطح بخش میانی در آخر تیر و اوایل مرداد
- دمای آب در عمق ۵۰ متری در آخر مرداد
- دمای آب در عمق ۱۰۰ متری در دی

• دمای آب در عمق ۲۰۰، ۳۰۰، و ۴۰۰ متری در دی و بهمن

از این بررسیها نتیجه می‌شود که هنگامی که در سطح زمستان است آب گرم انتقال یافته از سطح به عمق ۴۰۰ متری می‌رسد و آنجا را گرم می‌کند. تغییرات دمای سالانه‌ی اعماق مختلف دریاچه‌ی خزر تقریباً تا عمق ۴۰۰-۴۵۰ متری کاملاً محسوس است. زیر این عمق، آب تقریباً بی‌حرکت و سردی وجود دارد. بر این اساس سرد شدن آب دریاچه در فصول پاییز و زمستان بر چگالی آب می‌افزاید و آب شروع به نشست می‌کند و سبب گردش عمودی آب می‌شود. این گردش عمودی در حوزة شمالی تا قعر دریاچه ادامه می‌یابد؛ در حوزة میانی تا عمق ۱۵۰-۳۰۰ متری و در حوزة جنوبی تا ۵۰۰ متری آب را فرامی‌گیرد. آبهای سرد حوزة میانی در اعماق بیشتر (تا ۵۰۰ متری) به علت سردتر و سنگین‌تر بودن از شیبی که در ته دریاچه از شمال به جنوب وجود دارد به طرف جنوب حرکت می‌کند. در حوزة جنوبی دریاچه اختلاط آبهای طبقات عمیق دریاچه (تا ۷۰۰ متری) به جریان آب سرد حوزة میانی از طریق برجستگیهای زیرآبی آبشوران و نیز جریان و انتشار آبهای سرد شده و چگال‌تر شده‌ی سواحل کم‌عمق شرقی این بخش بستگی دارد.

مطالعات آ. ن. کوساریر نشان داده در سالهایی که سطح دریاچه پایین رفته بود در میزان دمای طبقات عمیق دریاچه تغییراتی به وجود آمد و تقریباً ۰/۱ درجه از دمای آب در این طبقات کم شده است. برعکس، بر مقدار اکسیژن آن افزوده شده و هیدروژن سولفور (H_2S) زائل شده است. از این موضوع نتیجه می‌شود که در طول ۳۰ سال تنزل آب دریاچه، اختلاط آبهای طبقات عمیق دریاچه به خوبی صورت گرفته است. شکل ۱-۱۴ برش شمال-جنوبی، دمای حاصل از گشت دریایی ۱۳۷۴ شمسی را نشان می‌دهد.

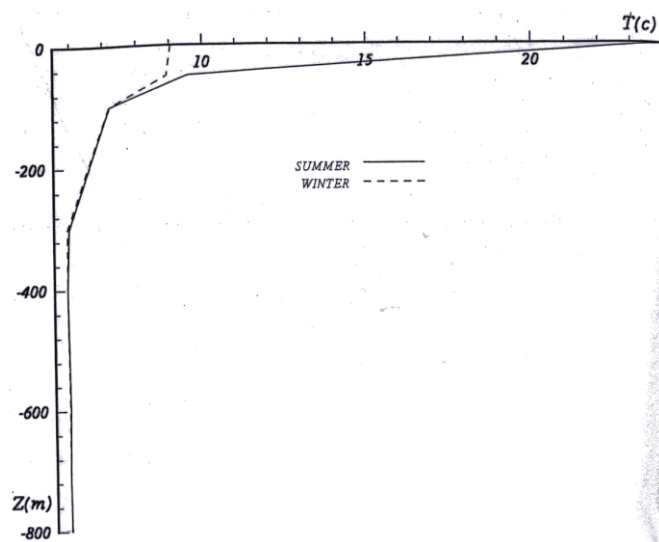


شکل ۱-۱۴ برش طولی دمای آب دریاچه‌ی خزر براساس مشاهدات از گشت دریاچه‌ای (منبع ۱۳)

۱۳-۲-۱ ترموکلاین در دریاچه‌ی خزر

با توجه به متوسط و میانگین دمای ماهیانه و سالانه در سراسر دریاچه‌ی خزر (جدول ۱-۲)، وجود ترموکلاین دائم را می‌توان در نظر گرفت. با توجه به شکل ۱-۱۵، تغییرات لایه‌ی سطحی در دوره‌ای یک ساله از حدود ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد در تابستان به حداقل حدود ۹ درجه‌ی سانتی‌گراد در زمستان کاهش می‌یابد. این تغییرات مطابق شکل ۱-۱۵، تا عمق حدود ۵۰ متر به روشنی مشخص است. اگرچه از حدود ۵۰ متر تا عمق ۱۰۰ متر نیز تحت تأثیر تغییرات سالانه قرار می‌گیرد. بنابراین

به طور خلاصه چنین می‌توان نتیجه گرفت که ترموکلاين فصلی تا عمق حدود ۱۰۰ متر برقرار است، زیرا در این عمق به ترموکلاين دایم برمی‌خوریم که تا عمق حدود ۳۰۰ متر کشیده شده است. این لایه تحت تأثیر تغییرات فصلی قرار نمی‌گیرد.



شکل ۱-۱۵ نمودار تغییرات دما بر اساس عمق (منبع ۱۳)

جدول ۱-۲ وضعیت دمای آب در اعماق دریاچه

شماره ردیف	عمق به متر	متوسط دمای سردترین موقع سال	متوسط دمای گرم‌ترین موقع سال
۱	۰	۹/۰۵	۲۴/۱۸
۲	۵۰	۸/۹۲	۹/۵۷
۳	۱۰۰	۷/۲۰	۷/۲۱
۴	۳۰۰	۵/۹۱	۵/۹۶
۵	۴۰۰	۵/۹۰	۵/۹۰
۶	۶۰۰	۵/۹۳	۵/۹۵
۷	۷۰۰	۵/۹۲	۵/۹۲
۸	۸۰۰	۵/۹۴	۵/۹۴

۱-۲-۱۴ وضعیت یخبندان

گفتیم، هر ساله خزر شمالی از یخهای ثابت پوشیده می‌شود. در خزر میانی و جنوبی بندرت یخ ساخته می‌شود و فقط در خلیجها و گاهی در نوار ساحلی یخ مشاهده می‌شود. در فصل زمستان ایجاد یخ در مناطق کم‌عمق خزر شمالی در اواخر آبان و در ۱۰ روز اول آذر شروع می‌شود. در اواسط آذر قسمت شمال شرقی دریاچه و مناطق کم‌عمق شمال غربی از یخ پوشیده می‌شود. در اواخر آذر سراسر خزر شمالی کاملاً از یخ پوشیده است. در زمستانهای سرد پوشش یخی در شهر گوریف ۵-۷ ماه دوام می‌یابد. ضخامت یخ ۴۰-۷۰ سانتی‌متر است. بادهای متغیر توفان‌زا یخها را درهم می‌شکند و کوههای یخی طبقه‌طبقه به وجود می‌آورد. گاهی ارتفاع آن به ۱۲ متر می‌رسد. این بادهای یخهای ثابت را به یخهای شناور تبدیل می‌کند که به طور کلی در جهت باد در حرکت‌اند.

بسیار اتفاق افتاده است که در زمستانهای سرد یخهای شناور با بادهای و جریانها از خزر شمالی در امتداد ساحل غربی تا ماخاچ‌کالا و دربند و حتی گاهی تا آبشرون برسند. در زمستانهای خیلی گرم ایجاد یخ ۲ ماه دیرتر از موعد معمولی شروع می‌شود. در چنین زمستانهایی فقط مناطق کم‌عمق یخ می‌زنند و پوشش یخی توسعه‌ی زیادی نمی‌یابد. یخهای خزر شمالی از اواسط اسفند تا اواسط فروردین کاملاً آب می‌شوند. یخهای سایر مناطق زودتر ذوب می‌شوند.

۱-۲-۱۵ دمای هوا و انواع آب و هوا در دریاچه‌ی خزر

میزان گرمای هوا و آب، رسوبات، باده‌ها، و اختلاف عرض جغرافیایی جنوب تا شمال دریاچه‌ی خزر از جمله عواملی‌اند که در وضع آب و هوای این دریاچه مؤثرند. به طور کلی ۴ منطقه‌ی آب و هوایی در نواحی ساحلی دریاچه‌ی خزر می‌توان مشخص کرد.

الف) آب و هوای غربی حوضه‌ی شمالی و مرکزی

از ساحل شرقی ولگا تا شمال شبه‌جزیره‌ی آبشرون، آب و هوا در تابستان خشک و در زمستان بسیار سرد است. در آستاراخان دمای هوای تابستان بندرت به ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد. میزان گرما در دی ۸- درجه‌ی سانتی‌گراد، در تیر ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، و حداکثر مطلق آن متجاوز از ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. دفعات بارش باران، بویژه در خرداد و تیر، زیاد است، اما میزان آن کم است. یخبندان زمستانی و آب‌شدن یخها از عوامل اصلی این نوع آب و هوا هستند. از آذر تا اسفند، که سرمای شدید روسیه‌ی شمالی به سمت جنوب کشیده می‌شود، دهانه‌ی رودخانه‌ها همچنان تمام حوضه‌ی شمالی از یخ پوشیده می‌شود. هنگام طغیان بهاری این یخها تا آن سوی اترک پیش می‌روند و در آنجا چون به پای کوههای قفقاز می‌رسند، نفوذشان پایان می‌یابد.

ب) آب و هوای شمال دریاچه و شرق حوضه‌ی شمالی و مرکزی

این مناطق از فلات اوست‌اورت تا قزاقستان جنوبی امتداد می‌یابد. آب و هوای این مناطق خشک است و زمستانهایی یخبندان و تابستانهایی گرم و سوزان دارند. این آب و هوا را د. ن. کاشکارو آب و هوای آسیای مرکزی نامیده است.

ج) آب و هوای شرق حوضه‌ی جنوبی

نتیجه‌ی مشترکی که در این زمینه به دست آمده گرمای زیاد در فصل تابستان است. در این ناحیه زمستان‌سختی دیده می‌شود (در کراسنودسک حدمتوسط در دی ۴/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و در تیر ۲۸/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است). کاشکارو این آب و هوا را مدیترانه‌ای نامیده است.

د) آب و هوای غرب و جنوب حوضه‌ی جنوبی

اگر برای باران بهاری و پاییزی، با میزان گرمای متعادل نام آب و هوای مدیترانه‌ای اطلاق شود، می‌توان گفت آب و هوای این منطقه مدیترانه‌ای است.

۱-۲-۱۶ میزان شفافیت و رنگ آب دریاچه‌ی خزر

رنگ آب دریاچه‌ی خزر در دهانه‌ی رودخانه‌ها بلوطی رنگ، در دور از ساحل متمایل به سبز، و در مرکز حوضه‌های سه‌گانه آبی است. میزان نفوذ نور در آب دریاها به دو دسته تقسیم می‌شود: منطقه‌ی نورگیر، که مواد آلی در آن تولید می‌شوند؛ و منطقه‌ی فاقد نور، که مواد آلی در آن تجزیه می‌شوند. شفاف بودن آب که از خواص فیزیکی آب به شمار می‌رود وابسته به تمیزی آب است، زیرا هر قدر ذرات گل و لای یا لجن یا بقایای جانوران و رستنی‌ها حتی خود جانوران و گیاهان ریز در آب کمتر باشند به همان نسبت آب شفاف‌تر و صاف‌تر است. بر این اساس شفافیت آب دریاچه‌ی خزر در نواحی مصب رودخانه‌های بخش شمالی بسیار کم است. اما، در قسمت‌های دور از ساحل و در مناطق عمیق بخش‌های میانی و جنوبی که از مصب رودخانه‌ها فاصله‌ی زیادی دارند آب شفاف‌تر است. آب سواحل شرقی به دلیل نبود رودهای با دبی زیاد روشن‌تر است. حداکثر شفافیت آب دریاچه‌ی خزر در نقاطی که با دیسک سیشی^۱ تعیین شده بین ۱۲-۱۷ متر است؛ یعنی، در اعماق ۱۲-۱۷ متری شفاف‌ترین بخش‌های این دریاچه محو و از نظر ناپدید می‌شود.

برای مقایسه‌ی شفافیت آب در دریا‌های مختلف، میزان شفافیت چند دریا را بیان می‌کنیم: قسمت جنوبی دریای بالتیک ۱۳ متر، دریای مدیترانه ۶۰ متر، و اقیانوس اطلس ۶۶/۵ متر.

۱-۲-۱۷ مه

مه در مناطق باز خزر شمالی در بهار و تابستان ۱-۳٪ است. اما، هنگام پاییز و زمستان ۶-۱۲٪ است. تعداد روزهای مه‌آلود در سواحل آن از ۲۸-۴۷ روز در سال در نوسان است. روزهای مه‌آلود در زمستان و اوایل بهار به هم نزدیک‌ترند. در اواخر بهار و تابستان مه بسیار کم است. در پاییز تعداد

^۱ . دایره سفید رنگ به وزن ۵ کیلوگرم و قطر ۳۰ سانتی متر که معمولاً فلزی است و توسط طناب مدرج به اعماق آب فرستاده می‌شود تا عمق شفافیت آب دریا بدست آید.

متوسط روزهای مه‌آلود از ۱-۳ روز در شهریور تا ۴-۶ روز در آبان افزایش می‌یابد. در مناطق باز خزر میانی به طور کلی مه هنگام زمستان مشاهده می‌شود و استمرار آن در این زمان در سال ۴-۶٪ است. تعداد متوسط روزهای مه‌آلود در سال ۲۲-۳۶ روز در سواحل شرقی و ۳۴-۴۲ روز در سواحل غربی است. فقط در شبه‌جزیره‌ی آبشرون از ۱۰ روز در سال تجاوز نمی‌کند. در سواحل شرقی مه در طول سال به طور ناموزون پراکنده است. در منطقه‌ی شمالی این سواحل مه غالباً از مهر تا فروردین و در منطقه‌ی جنوبی از فروردین تا دی وجود دارد. در سواحل غربی مه غالباً از مهر تا فروردین وجود دارد (۴-۸ روز در ماه). در ماههای مرداد، شهریور، و مهر معمولاً روزهای مه‌آلود کمتر از ۳ روز است و از فروردین تا شهریور مه وجود ندارد. استمرار مه در مناطق باز خزر جنوبی از ۳٪ تجاوز نمی‌کند. اما، در نوار ساحلی استمرار آن از ۳-۱۲٪ در نوسان است. تعداد متوسط روزهای مه‌آلود در سواحل خزر جنوبی از ۱۳-۴۲ روز در سال در نوسان است و روزهای مه‌آلود غالباً از مهر تا اردیبهشت وجود دارند. ولی، از خرداد تا شهریور روزهای مه‌آلود ماه از ۱ روز بیشتر نیست.

۱-۲-۱۸ نوسانات سطح آب دریاچه‌ی خزر

حادثترین مسئله‌ی کنونی دریاچه‌ی خزر و کشورهای حاشیه‌ی آن تغییرات سطح آب دریاچه‌است که مشکلات فراوانی را برای این کشورها به وجود آورده است. در دریاچه‌ی خزر باد عامل نوسانات چندین ساله، یک ساله، و پیشروی و پسروی سطح دریاچه‌است. نوسانات سالیانه‌ی سطح آب (میزان نوسان آن ۳۵-۴۰ سانتی‌متر است) به پراکنش سالیانه و تعداد واردات و تفاوت بین آنها بستگی دارد. تغییرات سطح دریاچه غالباً به شکل پیشروی و پسروی آب است که تحت تأثیر جهت‌های متفاوت باد است. میزان پیشروی و پسروی آب در خزر شمالی ۲-۳ متر، در خزر میانی و جنوبی ۲۰-۵۰ سانتی‌متر است که گاه به ۱-۱/۵ متر می‌رسد. نوسانات مدی سطح آب در دریاچه‌ی خزر عملاً وجود ندارد.

به دلیل جدابودن دریاچه‌ی خزر از اقیانوس جهانی، سطح آب آن با شرایط آب و هوایی در حوزه‌ی دریاچه ارتباط شدیدی دارد. مطالعه‌ی نوسانات سطح دریاچه‌ی خزر اهمیت ملی فراوانی دارد. پایین آمدن سطح دریاچه باعث کم‌عمقی مناطق نزدیک بنادر می‌شود و شرایط کشتیرانی را

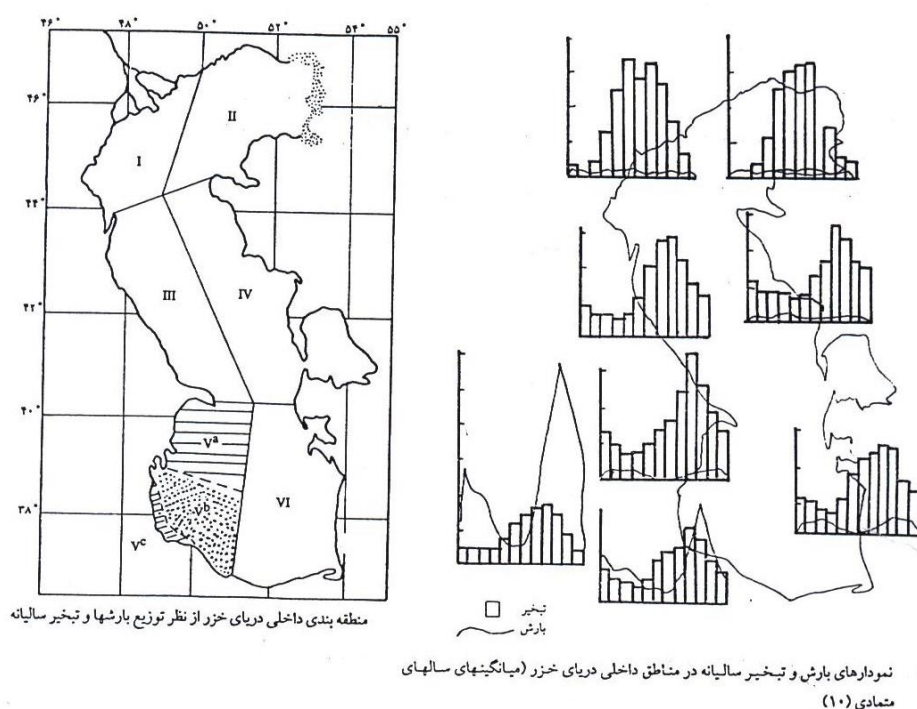
دشوار می‌کند. در نهایت، در وضعیت مناطق حفاظت‌شده و ذخایر ماهی تأثیر منفی می‌گذارد. از این رو، ضرورت ایجاب می‌کند در زمینه‌ی عوامل کاهش سطح دریاچه‌ی خزر به طور مفصل تحقیق و مطالعه شود. در نگاه اول نوسانات سطح دریاچه‌ی خزر را می‌توان از نظر زمین‌ساختی بررسی کرد. بسیاری از زمین‌شناسان همین راه را طی کرده‌اند و سعی کرده‌اند با فرایندهای زمین‌شناختی تغییرات سطح دریاچه را به اثبات برسانند.

۱-۲-۱۹ ابرها و نزولات جوی در دریاچه‌ی خزر

پوشش ابر در سواحل دریاچه‌ی خزر متغیر است. در طول شبانه‌روز حداکثر مقدار ابر در صبح و حداقل آن در اواسط روز و عصر است. در زمستان ابرهای متراکم به شکل طبقه‌طبقه و باران‌زا در طبقات پایین وجود دارند. در تابستان غالباً ابرها در طبقات میانی و بالایی‌اند و پیشرفت عمودی دارند. مقدار نزولات جوی در سطح دریاچه‌ی خزر کم است. مقدار متوسط نزولات جوی در سال بندرت از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز می‌کند و فقط در سواحل جنوب غربی مقدار آن به ۱۷۰۰ میلی‌متر می‌رسد. تعداد روزهای آفتابی در سواحل شمالی به طور متوسط ۶۳-۹۴ روز در سال است و روزهای ابری ۹۴-۱۲۱ روز است. بیشترین روزهای آفتابی از خرداد تا شهریور و روزهای ابری از آبان تا اسفند است. مقدار نزولات جوی ۱۶۰-۲۰۰ میلی‌متر در سال است. در سالهای پر باران این میزان به ۳۶۵ میلی‌متر افزایش می‌یابد. نزولات جوی غالباً به شکل باران است. برف فقط از آبان تا اسفند می‌بارد. تعداد روزهای آفتابی در سواحل غربی بخش خزر میانی به طور متوسط ۴۹-۷۲ روز و در سواحل شرقی آن ۸۸-۱۰۰ روز است. روزهای ابری به ترتیب ۱۱۳-۱۴۳ روز و ۸۰-۱۴۳ روز است. روزهای آفتابی اغلب از خرداد تا شهریور و روزهای ابری از مهر تا فروردین است. مقدار متوسط نزولات جوی در سال در سواحل غربی به ۲۰۰-۴۰۰ میلی‌متر و در سواحل شرقی به ۷۰-۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد.

در خزر جنوبی مقدار متوسط روزهای آفتابی در سال در سواحل غربی و جنوبی دریاچه ۵۶-۱۱۰ روز و در سواحل شرقی ۱۰۰-۱۱۰ روز است. روزهای ابری به ترتیب ۹۴-۱۴۷ روز و کمتر از ۷۴ روز است. بیشترین روزهای آفتابی از خرداد تا شهریور و روزهای ابری از مهر تا فروردین است. پراکنش نزولات جوی در مناطق بسیار ناموزون است و مجموع سالیانه‌ی آن از ۱۰۰ میلی‌متر در

شمال شرقی تا ۱۷۰۰ میلی متر در جنوب غربی در نوسان است. در این مناطق بارش برف بسیار کم است. در قسمتهای جنوبی و جنوب غربی دریاچه‌ی خزر مقدار نزولات جوی بیشتر از خزر شمالی و میانی است ولی تبخیر در آن کمتر است. در سواحل جنوب غربی در بعضی ماهها (بجز اردیبهشت، خرداد، و تیر) مقدار نزولات جوی بیشتر از تبخیر آن در طول سال است (شکل ۱-۱۶).



شکل ۱-۱۶ نمودار بارش و تبخیر سالیانه در مناطق داخلی دریاچه‌ی خزر (منبع ۱۳)

در بخش خزر شمالی در دی و بهمن به دلیل وجود پوشش یخی تبخیر عملاً قطع می‌شود. در مناطق شمال شرقی این امر به فرایند معکوس، یعنی از بخار به یخ، تبدیل می‌شود. در این ماهها در خزر شمالی مقدار نزولات جوی کمی بیشتر از تبخیر آن است. تراز آب دریاچه‌ی خزر به طور کلی با رودخانه و نزولات جوی (قسمت واردات) و تبخیر

(قسمت صادرات) مشخص می‌شود. رودخانه‌ها تقریباً ۸۰٪ آبهای ورودی دریاچه را تشکیل می‌دهند که در قسمت واردات نقش اساسی دارند. مقدار رطوبتی که دریاچه‌ی خزر در طول سال به جو می‌دهد ۵ برابر مقدار رطوبتی است که از آن می‌گیرد. بیشترین مقدار نزولات جوی در نیمه‌ی سرد سال (۶۰٪) و بقیه (۴۰٪) در نیمه‌ی گرم سال می‌بارد. بیشترین اختلاف سالیانه بین تبخیر و مقدار نزولات جوی در خزر شمالی و در نیمه‌ی شمالی قسمت جنوب غربی دریاچه وجود دارد. جدول ۳-۱ اجزای تشکیل‌دهنده‌ی بیلان آبی دریاچه‌ی خزر را در سالهای ۱۸۸۰-۱۹۹۰ میلادی را نشان می‌دهد. جدول ۴-۱ و ۵-۱ بارش و تبخیر سالیانه در مناطق داخلی دریاچه‌ی خزر را مشخص می‌کنند.

جدول ۳-۱ اجزای تشکیل‌دهنده‌ی بیلان (ترازنامه) آبی دریاچه‌ی خزر در سالهای ۱۸۸۰-۱۹۹۰ میلادی

میزان تبخیر (سانتی‌متر)	متوسط جریان خروجی به خلیج قره‌بقاز (میلیون مترمکعب) (سانتی‌متر)		متوسط جریانهای ورودی سالیانه* (میلیون مترمکعب) (سانتی‌متر)		تغییرات سطح آب (سانتی‌متر)	دوره (میلادی)
	۶/۷	۲۴۷۰۰	۷۵/۵	۳۰۶۰۰۰	-۹۲	۱۹۱۳-۱۸۸۰
۷۱/۵	۶/۷	۲۴۷۰۰	۷۵/۵	۳۰۶۰۰۰	-۹۲	۱۹۱۳-۱۸۸۰
۷۴/۷	۴/۹	۱۹۷۰۰	۸۰/۴	۳۲۱۰۰۰	۱۶	۱۹۳۲-۱۹۱۴
۷۷/۳	۲/۷	۱۰۵۰۰	۵۸/۵	۲۲۹۰۰۰	-۱۷۲	۱۹۴۰-۱۹۳۳
۷۸/۲	۳/۱	۱۱۶۰۰	۷۷/۵	۲۹۲۰۰۰	-۶۱	۱۹۵۶-۱۹۴۱
۷۳/۲	۲/۶	۹۵۰۰	۷۵/۵	۲۸۱۰۰۰	-۴	۱۹۷۰-۱۹۵۷
۷۲/۰	۱/۹	۶۹۰۰	۶۵/۲	۲۳۶۰۰۰	-۶۱	۱۹۷۷-۱۹۷۱
۶۸/۴	۰/۵	۱۸۰۰	۸۱/۹	۳۰۵۰۰۰	۱۶۶	۱۹۸۰-۱۹۷۸
۷۳/۵	۴/۲	۱۶۶۰۰	۷۵/۳	۲۹۳۰۰۰	-۲۰۶	۱۹۹۰-۱۹۸۱

* شامل جریانات ورودی زیرزمینی به مقدار ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال

جدول ۱-۴ بارشهای سالیانه در مناطق داخلی دریاچهی خزر (متوسط سالهای متمادی) بر حسب میلی‌متر

منطقه‌ی اصلی	منطقه‌ی ثانوی	ماه												
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
شمالی	غربی	۱۲	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۲
	شرقی	۱۲	۱۲	۱۰	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۰	۱۲	۱۲
مرکزی	غربی	۱۱	۸	۸	۸	۶	۶	۶	۴	۵	۹	۱۱	۱۳	۱۰۲
	شرقی	۶	۶	۷	۸	۷	۳	۳	۴	۴	۶	۴	۷	۶۸
جنوبی	غربی	۴۵	۲۷	۳۵	۲۵	۱۴	۱۲	۸	۲۲	۵۶	۸۸	۵۴	۳۹	۴۲۵
	شرقی	۲۳	۱۷	۲۸	۱۷	۱۴	۹	۷	۱۲	۱۲	۳۲	۲۸	۲۹	۲۴۰

جدول ۱-۵ تبخیر سالیانه در مناطق داخلی دریاچهی خزر (متوسط سالهای متمادی) بر حسب میلی‌متر

منطقه‌ی اصلی	منطقه‌ی ثانوی	ماه												
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
شمالی	غربی	۱۸	۸	۲۵	۶۴	۱۲۶	۱۶۹	۱۴۲	۱۶۴	۱۳۶	۸۲	۳۷	۳۲	۱۰۰۳
	شرقی	۱	۱	۲۵	۶۱	۱۲۹	۱۵۴	۱۶۸	۱۷۰	۱۳۶	۷۹	۳۱	۲۸	۹۸۳
مرکزی	غربی	۴۷	۳۳	۳۱	۲۸	۳۲	۵۷	۱۰۱	۱۴۰	۱۴۵	۱۱۶	۷۵	۶۰	۸۶۵
	شرقی	۵۹	۴۶	۴۶	۳۹	۳۸	۴۲	۶۹	۹۱	۱۴۰	۱۲۲	۸۹	۸۴	۸۶۵
جنوبی	غربی	۵۸	۳۸	۳۴	۲۸	۴۲	۷۰	۸۰	۱۰۳	۱۴۰	۱۱۶	۷۸	۶۲	۸۴۹
	شرقی	۵۳	۵۰	۳۹	۳۵	۵۲	۸۸	۱۱۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۷	۸۲	۶۷	۹۵۶

۱-۲-۲۰ جریانهای همرفتی

در فصل زمستان به علت اختلاف دمای بین سطح و عمق دریاچه، آبهای سطحی که سردتر و سنگین‌ترند به طرف طبقات پایین حرکت می‌کنند و جای آن را آبهای لایه‌های پایینی که نسبتاً گرم‌تر و سبک‌تر است می‌گیرند. در فصل تابستان به علت تبخیر شدید در سطح آب شوری و املاح موجود

افزایش می‌یابد و آبهای سطحی سنگین می‌شوند و به سمت پایین حرکت می‌کنند و جای آن را در طبقات زیرین می‌گیرد.

به طور کلی پراکنش ناموزون غلظت آب باعث ایجاد جریان عمقی می‌شود. در مناطق کم‌عمق دریاچه سمت جریانهای بادی با سمت باد هماهنگی دارد. اما در مناطق عمیق جریانهای باد از جهت باد به طرف راست ۴۵ درجه منحرف می‌شوند. مقدار این سرعت در اعماق دریاچه ناچیز است و در خزر میانی جریان فراجوشی ایجاد می‌کنند. اگر باد از شمال به جنوب بوزد در ساحل جنوبی سرعت جریان فراجوشی برای انتقال لایه‌ی اکمن ۳۵-۴۰ cm/s می‌شود.

در حوزه‌های بسته‌ای همچون دریاچه‌ی خزر، اختلاط همرفتی در تشکیل ساختار آب و تهویه‌ی لایه‌های زیرین آن نقش اساسی دارد. بر اثر توسعه‌ی شدید فرایندهای همرفت، انتقال گسترده‌ای بین لایه‌های سطحی و عمیق صورت می‌گیرد و تقریباً ویژگیهای هیدرولیک آب یکنواخت می‌شود. با در نظر گرفتن موقعیت دریاچه‌ی خزر که در طول نصف‌النهاری گسترش یافته و گوناگونی شرایط هیدرولیک در بخشهای مختلف آن، سه نوع اختلاط همرفتی در دریاچه مشهود است: قطبی، نیمه‌قطبی، و نیمه‌استوایی.

همرفت قطبی در خزر شمالی جایی که در زمستان یخ تشکیل می‌شود روی می‌دهد. همرفت نیمه‌قطبی بیشتر در خزر میانی و جنوبی بر اثر سرمای زمستانی لایه‌ی سطحی ایجاد می‌شود. همرفت نیمه‌استوایی در مناطق کم‌عمق بخش شرقی دریاچه جایی که در تابستان به علت تبخیر شدید آب لایه‌های سطحی شور می‌شود مشهود است.

فصل دوم: تاریخچه

۱-۲ ماهواره‌ی نوآ^۱

از آنجا که ماهواره‌ی نوآ (NOAA) ماهواره‌ای است که تعیین دمای سطح دریاچه‌ی خزر در این تحقیق از تصاویر آن استخراج شده است لذا به بیان مشخصات این ماهواره و سنجنده‌های آن می‌پردازیم.

نوآ، دارای یک سری از ماهواره‌هایی است که برای دستیابی به اطلاعات محیطی به فضا اعزام شده‌اند و تاکنون ۱۸ سری ماهواره تحت این نام به مأموریت رفته‌اند. مدار آنها به فاصله ۸۵۰ کیلومتری زمین بوده و با خورشید سنکرونیزه هستند. این ماهواره‌ها به صورت جفتی کار می‌کنند. بطوری که ماهواره‌ی «صبحگاهی» خط استوا را در ساعت ۷:۳۰ بامداد و همچنین ۱۹:۳۰ قطع می‌نماید، در حالی که ماهواره‌ی «بعدازظهری» استوا را در ساعت ۱۴:۳۰ و ۲:۳۰ بامداد قطع می‌کند. هر ماهواره در ۲۴ ساعت دو بار کره‌ی زمین را در ۱۴ نوبت روزانه عکسبرداری و با پهنا ۲۷۰۰ کیلومتر پوشش می‌دهد.

هر جفت ماهواره در هر شبانه‌روز چهار بار زمین را پوشش می‌دهند. هر ماهواره‌ی نوآ دو سیستم تصویربرداری را با خود حمل می‌نماید که داده‌های آنها منحصراً مورد نیاز مطالعات محیطی است. این دو سیستم یکی «اسکنر رنگی منطقه ساحلی^۲ CZCS» و دیگری «راديوتر پیشرفته با قدرت تفکیک خیلی بالا^۳ AVHRR» است.

۱-۱-۲ اسکنر رنگی منطقه ساحلی CZCS

اسکنر رنگی منطقه‌ی ساحلی یک نوع اسکنر چندطیفی ترکیبی است که بر روی ماهواره‌ی قطب‌گرد نیمبوس که در ۲۳ اکتبر سال ۱۹۷۸ به فضا رفت، نصب شده بود. این اسکنر در شش باند، قدرت ضبط تصویر در طیف قابل رؤیت، مادون قرمز انعکاسی و منطقه‌ی مادون قرمز حرارتی را دارد. عرض منطقه‌ی مورد عکسبرداری ۱۶۰۰ کیلومتر و قدرت تفکیک آن ۸۲۵ متر است. انوار منعکس شده از موجهای روی سطح آب دریا (به نام درخشش آبی خورشید)^۴ ممکن است ایجاد مشکل نماید. برای پرهیز از این برق‌زدگی آبی،

^۱ - NOAA: National oceanic and Atmospheric Administration

^۲ - CZCS: Coastal Zone color Scanner

^۳ - AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer

^۴ - Sunlight

ممکن است که اسکنر ۲۵ درجه به طرف جلو یا عقب ماهواره منحرف شود. در جدول ۱-۲ می‌توانیم باندهای طیفی را مشاهده کنیم.

جدول ۱-۲: باندهای طیفی در اسکنر رنگی منطقه ساحلی را نشان می‌دهد

مشخصات	طول موج (میکرومتر)	باند
آبی	۰/۴۳-۰/۴۵	۱
سبز	۰/۵۱-۰/۵۳	۲
سبز	۰/۵۴-۰/۵۶	۳
قرمز	۰/۶۶-۰/۶۸	۴
مادون قرمز انعکاسی	۰/۷۰-۰/۸۰	۵
مادون قرمز حرارتی	۱۰/۵۰-۱۲/۵	۶

تصاویری که در طیف مرئی تهیه شده (باند ۱ تا ۴) می‌تواند ابرهای نازک و همچنین مه‌گرفتگی^۱ را نشان دهد که در تصویر مادون قرمز انعکاسی (باند ۵) از شدت آن کاسته می‌شود. محققان توانسته‌اند روشهایی را ابداع کنند که اثرات پخشندگی اتمسفر را تقلیل دهد. این تصاویر از دیدگاه تهیه نقشه مواد ارگانیک اقیانوسی، مفید است.

۲-۱-۲ رادیومتر پیشرفته با قدرت تفکیک بالا AVHRR

این دستگاه قادر است تصاویری در عرض ۲۷۰۰ کیلومتر تهیه کند. این پهناي عظیم کارشناسان را قادر می‌سازد تا هر روز با ۱۴ نوبت دورزدن ماهواره نوآ که با خورشید سنکرونیزه شده یک پوشش کامل از کره زمین را فراهم نماید. از آنجا که این قبیل ماهواره ها به صورت جفتی است، در نتیجه یک جفت تصویر در هر روز تهیه می‌گردد که یکی صبح و دیگری در بعدازظهر است. در سیستم AVHRR یک باند مرئی، یک باند انعکاسی مادون قرمز و سه باند مادون قرمز حرارتی (جدول ۲-۲) وجود دارد که همه دارای قدرت تفکیک فضایی ۱/۱ کیلومتر است. باندهای مرئی و مادون قرمز برای مساحی رستنیهای کره زمین بسیار کارآیی دارند.

^۱ - Haze

جدول ۲-۲ شرح باندهای AVHRR

شماره باند	طول موج (کیلومتر)	مشخصات
۱	۰/۵۸-۰/۶۸	قرمز - برای نقشه برداری از رستنیها
۲	۰/۷۲-۱/۱۰	مادون قرمز حرارتی - برای نقشه برداری رستنیها
۳	۳/۵۵-۳/۹۳	مادون قرمز حرارتی - منابع گرمازا مانند آتش سوزی، آتشفشانها
۴	۱۰/۵۰-۱۱/۵۰	مادون قرمز حرارتی - برای تشخیص حرارت‌های محیطی
۵	۱۱/۵۰-۱۲/۵۰	مادون قرمز حرارتی - فقط در نوای شماره ۷ قابل ضبط است

تصاویر AVHRR برای تشخیص پراکندگی رستنیها مناسب بوده و از لحاظ تغییرات فصلی نیز در مقیاس وسیع قاره‌ای مفید است.

کره‌ی زمین در هر شبانه‌روز دوبار با تصاویر AVHRR پوشیده می‌شود. در تجربه نشان داده شده برای کشورهای مثل امریکا دو هفته وقت لازم است که یک سری تصاویر «بدون ابر» حاصل گردد، در حالی که یک پوشش کامل بدون ابر در سیستم TM نیاز به یک سال وقت دارد تا با تکرار هر ۱۶ روز حاصل آید. لذا کاربران تصاویر ماهواره‌ای لازم است که این معادلات را در طراحی پروژه‌های خود مدنظر داشته باشند.

۳-۱-۲ محاسبه‌ی تعداد تصاویر در سیستم‌های مختلف برای سطح ایران

از نظر تئوری برای یک پوشش کامل از سرزمین ایران به مساحت ۱/۶۴ میلیون کیلومتر مربع تعداد تصاویر لازم در هر یک از سیستمها به قرار زیر است:

۱. تعداد تصویر در سیستم TM با عرض ۱۸۵ کیلومتر برابر است با ۴۸ تصویر
۲. تعداد تصویر در سیستم CZCS با عرض ۱۶۰۰ کیلومتر برابر است با ۰/۶۵ یک تصویر
۳. تعداد تصویر در سیستم AVHRR با عرض ۲۷۰۰ کیلومتر برابر است با ۰/۲۲ یک تصویر

۲-۲ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در تهیه‌ی نقشه‌ی دمای سطح دریا

تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی، جزئی از کاربرد داده‌های ماهواره‌ای است: از آن جمله، تهیه نقشه‌ی گرمایی آب اقیانوسها و دریاهاى آزاد دنیاست که کاربرد وسیعی دارد. دمای سطح دریاها عامل بسیار مؤثری در اقلیم جهانی است. یکی از کاربردهای وسیع این مورد در بررسی منابع غذایی دریایی است و مورد دیگر اینکه،

جریانهای دریایی و دمای سطح دریاها مستقیماً به همدیگر وابسته‌اند. پس مطالعات سطح دریاها می‌تواند کمک مؤثری در شناخت بهتر اقلیم نموده و اختراهای لازم را قبل از وقوع حوادث اقلیمی بدهد.

۲-۳ سوابق تحقیقی

۲-۳-۱ سابقه‌ی تحقیق در خارج از کشور

از موقعی که ماهواره‌های هواشناسی به فضا پرتاب شده‌اند تا به حال کاربردهای گوناگونی از داده‌های آنها به عمل آمده است. بعد از فعالیت سری اول ماهواره‌های هواشناسی به نام تایروس^۱ که یک سیستم مشاهده‌ی تلویزیونی تابشهای مادون قرمز بود استفاده از داده‌های ماهواره‌ی نوآ شروع شد. در این فصل به بیان مختصری درباره‌ی موضوعات مشابه این تحقیق در داخل و خارج از کشور می‌پردازیم:

کوگان و ویلاندا (Cogan and Willando, 1976) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی NOAA2 در یک منطقه‌ی اقیانوسی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ کیلومتر در زمانهای متفاوت به برآورد دمای سطح آب دریا^۲ (SST) از داده‌های ماهواره‌ای و مقایسه‌ی آن با داده‌های اندازه‌گیری شده دریایی پرداخته‌اند. آنها متذکر شده‌اند به دلیل جذب ناشی از بخار آب، دی‌اکسیدکربن و ازن موجود در جو، دمای به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای همواره کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده به وسیله کشتی‌ها و دیگر روشها است. در این مطالعه آنها بیشتر به تصحیح اثرات اتمسفری در برآورد دمای سطحی آب از طریق داده‌های ماهواره‌ای پرداخته‌اند. آنها برای این کار منابع خطای عمده را بدین شرح آورده‌اند:

۱- خطاهای ناشی از تبدیل آنالوگ به دیجیتال

فرض بر این است که در معادل‌سازی ولتاژ تولیدشده به وسیله‌ی سنسورهای دستگاه، به اعداد صحیح بین ۰ تا ۱۰۲۳ مقداری خطای سیستماتیک می‌دهد.

۲- اثر کاهندگی اتمسفر

اتم‌سفر با داشتن گازها و ذرات مختلف هم در رسیدن انرژی خورشیدی به زمین و هم در برگشت آن به صورت انعکاسی به سنجنده اثر منفی دارد و باعث کاهش تابش عبوری از خود می‌شود که به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شود:

الف. کاهش ناشی از وجود ابر در اتمسفر و اثر جذب و پراکندگی آن

^۱ - Tiros

^۲ - Sea surface temperature

ب. کاهش ناشی از جذب به وسیله‌ی اجزاء مختلف اتمسفر اعم از گازها و ذرات گرد و غبار

۳- کالیبره کردن

الف) الکترونیک

ب) حرارتی

خطاهایی در کالیبره کردن الکترونیکی و حرارتی می‌تواند به وجود آید. ضرایب الکترونیکی به وسیله خود NOAA برای استفاده از داده‌ها اعمال می‌شود. این ضرایب برای هر ماهواره متفاوت است. در کل خطای به وجود آمده از این مرحله در حدود ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد برآورد می‌شود.

۴- نوفه^۱ در داده‌ها

وجود نوفه یا اطلاعات ناخواسته که به علل متفاوتی در یک مجموعه از داده‌ها ممکن است یافت شوند باعث ایجاد خطا در برآورد خواهند شد.

متوسط اختلاف بین داده‌های برآورد شده و داده‌های اندازه‌گیری شده حدود ± 0.5 درجه سانتی‌گراد بوده که این میزان با توجه به شرایط اتمسفری بین ± 0.3 تا ± 1 درجه‌ی سانتی‌گراد متغیر است.

با بکارگیری اطلاعات پوشش محلی ماهواره NOAA-Lac و سنجنده‌ی AVHRR، اویدال و همکاران (Obaidual. et al, 1984) به برآورد دمای سطح دریا (SST) در خلیج بنگال با استفاده از الگوریتم خطی که به وسیله‌ی مک کلین (Mac Clain, 1984) ارائه شده بود پرداختند. الگوریتم مورد استفاده آنها به قرار زیر است:

$$SST = 1/346 (T_{11} - T_{12}) - 283/21 \quad (1-2)$$

که در آن T_{11} دمای روشنایی باند ۴ و T_{12} دمای روشنایی باند ۵ است.

کراکنل (Cracknell, 1992) در طی تحقیقات خود در خلیج بنگال متوجه شد که در بعضی از نواحی دمای غیرمتعارف و بالایی مشاهده می‌شود. به همین منظور طی مطالعات دقیق‌تر این محقق متوجه شد که این دمای بالا ناشی از انعکاس خورشید است که درخشش خورشیدی^۲ (Sun Light) نامیده می‌شود. او به

^۱ - Noise

^۲ - علت این پدیده در راستا قرار گرفتن دید سنسور با خورشید است که می‌توان در موقع طلوع و غروب خورشید، موقعی که ارتفاع خورشید نسبت به افق پایین باشد دید چون انعکاس تابش در راستای دید انسان است و نور شدیدی در قسمتی از آب دیده می‌شود.

این منظور از تئوری کاکس^۱ و مانک^۲ که هم در طیف مرئی و هم در مادون قرمز کاربرد دارد، برای تصحیح این اثر استفاده کرد. برای این منظور سرعت باد در سطح آب همراه با زاویه تابش و انعکاس در منطقه اندازه‌گیری و به وسیله‌ی آن یک ضریب تصحیح برای چنین مناطقی به کار برده شد.

در استخراج داده‌های دمای سطحی آب از تصاویر ماهواره‌ای و تهیه‌ی نقشه‌های دمای سطح دریا و کاربرد آن در توسعه صنعت ماهیگیری تحقیقی توسط گودا و همکاران (Gowda et al, 1993) در سازمان تحقیقاتی فضایی هند انجام شد. آنها در تحقیق خود ضمن استخراج داده‌های SST، دیگر پارامترهای دریای مثل تغییرات رنگ آب را نیز به وسیله‌ی تصاویر ماهواره‌ای استخراج کردند. آنها در تحقیق خود از الگوریتم خطی چند بانده^۳ (MCSST) به صورت مجزا یکی برای شب و دیگری برای روز استفاده کردند.

الگوریتم مورد استفاده برای داده‌های روزانه به شرح زیر است:

$$SST = 3/6548T_5 - 2/675T_4 - 268/92 \quad (2-2)$$

الگوریتم مورد استفاده برای داده‌های شبانه:

$$SST = 0/9936T_4 - 0/9825(T_3 - T_5) - 269/66$$

که در آن T₅ و T₄ و T₃ به ترتیب دمای روشنایی در باندهای ۵ و ۴ و ۳ است.

همانطور که مشاهده می‌شود در الگوریتم شبانه باند ۳ نیز وارد محاسبات شده است. این به دلیل نبودن نور خورشید در شب است که باعث می‌شود فقط تشعشعات سطحی به سنجنده برسد. دقت مطلق داده‌های به دست آمده $\pm 0/7$ درجه‌ی سانتی‌گراد و دقت نسبی آن $\pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد است. با استفاده از این داده‌ها، نقشه‌های SST اقیانوس هند تولید شده و ضمناً از اطلاعات دیگری مانند: جبهه‌های حرارتی (جایی که دو توده آب با دماهای متفاوت به هم برخورد می‌کنند)، گردابه‌ها^۴ (آشفستگی‌های دریایی با هسته‌های سرد و گرم)، مناطق جریانات بالاسو نیز بدست آمده است که همگی این اطلاعات برای تعیین محل تجمع انواع ماهیان به کار می‌رود. به طور مثال در مناطق بالآمدگی به علت اینکه آب از اعماق به طرف بالا جریان می‌یابد و با خود مواد غذایی به خصوص فیتوپلانکتونها را به سطح می‌آورد، لذا این محلها یکی از مناطق تجمع گونه‌های مختلف ماهیها به شمار می‌روند.

پارادا و کانتون (Parada and Conton, 1998) برای تجزیه و تحلیل ساختارهای حرارتی دریای آلبرین

¹ - Coxe

² - Monke

³ - Linear Multichannel Sea Surface temperature

⁴ - Eddy

در جنوب اسپانیا از تصاویر AVHRR-NOAA استفاده کردند. آنها برای هر ماه یک تصویر جداگانه که معرف پیشینه‌ی هفتگی بوده را از ترکیب تصاویر هفتگی استخراج کردند. این کار برای کاهش حجم داده‌ها و همچنین حذف مناطق ابری در تصویرهای منفرد بوده است. بعد از استخراج داده‌های SST با استفاده از روشهای آماری بخصوص آنالیز توابع متعامد تجربی^۱ (EOF) به بررسی تغییرات ساختار حرارتی دریای آلبرین پرداخته‌اند.

در دریاچه‌ی خزر «سر» و همکاران (Sur et al, 2000)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده AVHRR به شناسایی فرآیندهای دینامیکی در سطح دریا پرداخته و الگوی جریان‌ات چرخندی در منطقه را نشان دادند.

اوزچ و همکاران (Oesch et al, 2002) با استفاده از سنسور ماهواره‌ی NOAA16 با توجه به گذر ظهر در باند ۴ ($10.3-11.2 \mu$) و ۵ ($11.5-12.5 \mu$) و براساس واحدهای روشنایی دما و الگوریتم غیرخطی NLSST که توسط لی (Li, 2001) و اوزچ (Oesch, 2002) توضیح داده شده دمای سطح دریاچه را محاسبه کردند. دریاچه‌ی ژنو^۲ یکی از دریاچه‌های بسیار بزرگ در ناحیه اروپا است که مساحت ۵۸۱ کیلومتر مربع و عمق ۳۱۰ متری آن تأثیر مهمی بر روی شرایط آب و هوایی منطقه دارد. هدف از تعیین دمای سطحی با استفاده از سنجنده NOAA-AVHRR، جمع‌آوری اطلاعات در مورد تغییرات سالانه‌ی دمای سطح آب دریاچه است. با توجه به اینکه دریاچه‌ی ژنو در منطقه معتدل آب و هوایی واقع شده است رفتار Dimictic دارد. یعنی دوبار در سال در فصلهای بهار و پاییز در آن اختلاط صورت می‌گیرد. بنابراین پوشش مکانی و ثبت داده توسط AVHRR و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امکان جدید برای دیده‌بانی پدیده‌های^۳ LSWT^۳ ارایه می‌دهد. بعلاوه آنالیز دراز مدت LSWT خصوصیات دریاچه‌های مختلف را نیز ارائه می‌دهد. اوزچ و همکاران (Oesch et al, 2002) توزیع میانگین سالیانه‌ی دمای سطح دریاچه‌های متفاوتی که در آلپ واقع شدند را بررسی کردند. در این تحقیق ۲۲ دریاچه با اندازه‌های ۲۳ تا ۵۸۷ کیلومتر مربع و با حجم ۰/۵ تا ۸۹ کیلومتر مکعب و میانگین عمق ۵ تا ۱۷۱ متر و خصوصیات مورفولوژی گوناگون مورد بررسی قرار گرفتند.

۱. در این روش تغییرات زمانی تعداد زیادی از داده‌های وابسته به هم را می‌توان به تعداد کوچک از الگوهای متعامد فضایی که بردارهای ویژه نامیده می‌شود و ضرایب متعامد زمانی تجزیه کرد.

۲ - Geneva

۳ - LSWT: Linear Sea Water Temperature

اوزچ و همکاران (Oesch et al, 2003) دمای سطح آب دریاچه را به طور عملی از ماهواره‌ی NOAA سنجنده‌ی AVHRR و با استفاده از الگوریتم غیرخطی استخراج کردند. اطلاعات در این زمینه بینش و امکانات جدیدی را برای مدل‌سازی پدیده‌های هواشناسی در مقیاسهای محلی ارائه می‌دهد. تصاویر سنسورهای مادون قرمز نصب شده روی ماهواره‌های هواشناسی مثل NOAA-AVHRR بهترین ابزار برای به دست آوردن اطلاعات الگوی توزیع دمایی برای پهنه‌ی آبی است. هدف این تحقیق بررسی و تعیین سنسورهای AVHRR-NOAA مناسب برای نقشه‌برداری از دمای سطح آب LSWT در پهنه‌های کوچک آبی در مناطق نقشه‌برداری مثل آلپ بوده است.

در این تحقیق سه دریاچه با اندازه و خصوصیات مورفولوژی متفاوت، دریاچه مارتن^۱ با ۲۳ کیلومترمربع و ژنو با ۵۸۱ کیلومتر مربع و نوشاتل^۲ با ۲۱۷ کیلومتر مربع، با رژیم زیستی متفاوت و عمق متغیر از ۶ تا ۳۱۰ متر مورد مطالعه قرار گرفتند. مشاهده شد که اطلاعات تغییرات سالانه دمای سطح آب تابعی از اندازه‌ی دریاچه است. در این میان دریاچه مارتن به دلیل حجم کوچک، تغییرات سالیانه‌ی بیشتری را نسبت به دریاچه‌هایی با اندازه بزرگتر نشان می‌دهد.

تیمن و شیل (Thiemann and Schille, 2003) مقدار دمای سطح دریاچه را با استفاده از داده‌های NOAA-AVHRR در عرضهای میانی مورد بررسی قرار دادند. تغییرات زمانی و مکانی اندازه‌ی دما نقش ارزشمندی در فرآیندهای بیوژیکی و هیدرودینامیکی دارد. رژیم دمایی تأثیر مهمی روی دینامیک فیتوپلانکتونها دارد. لذا آنها اطلاعات دما را با توزیع مکانی در تمرکز کلروفیل که از وفور پلانکتونها در فصلهای مختلف حاصل می‌شود مورد مقایسه قرار دادند. به علاوه الگوی زمانی و مکانی اندازه‌ی دما و تأثیرات آنها در مطالعه‌ی فرآیندهای هیدرودینامیکی را نیز بررسی کردند. تصاویر بدون ابر NOAA-AVHRR برای سالهای ۱۹۹۵-۱۹۹۱ با گذر ظهر برای دریاچه‌ی کانستین^۳ با مساحت حدود ۵۷۱ کیلومتر مربع استخراج گردید. دمای سطح آب دریاچه با استفاده از روش Split Window محاسبه شده است:

$$T = a + bT_4 + c(T_4 - T_5) \quad (2-4)$$

T دمای سطح دریاچه، T₄ و T₅ دمای روشنایی باندهای ۴ و ۵ سنجنده‌ی AVHRR و c و b و a ضرایب رگرسیون هستند.

¹ - Murten
² - Nushatel
³ - Constane

مالم و جانسون (Malam and Jansson, 2003) مطالعه‌ای را روی فشار حرارتی^۱ در دریاچه‌ی لوداگان^۲ با استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR کانال ۴ و ۵ انجام دادند. در این تحقیق، فشار حرارتی با مشخصات نسبی الگوی دما ارتباط داده شده است. تصاویر ماهواره‌ای پیشرفت فشار حرارتی را از منطقه‌ی کم‌عمق جنوبی به منطقه‌ی عمیق شمالی نشان می‌دهد که توافق خوبی بین نتایج ماهواره‌ای و مدل‌های پیش‌بینی مناطق فشار حرارتی مشاهده شده است.

با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی ماهواره لندست با قدرت تفکیک بالا، یرمی فیشر و جان اف موستارد (Jerney I.Fisher, John F.Mustard, 2004)، اعضای هیات علمی دانشگاه براون، به بررسی اقلیم‌شناسی دریایی در جنوب نیوانگلند پرداختند و دریافتند که ذخایر آب‌های کم‌عمق و منفک از هم نسبت به آب‌های خلیج‌های عمیق‌تر و مرتبط با هم و نسبت به آب‌های ساحلی اقیانوسی در معرض تغییرات دمایی شدید قرار می‌گیرند (یعنی از ۲- تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد).

۲-۳-۲ سابقه‌ی تحقیق در ایران

در ایران نیز با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای محاسبه دمای سطحی کارهای موردی و آزمایشی انجام گرفته است.

زیبری و مجد (۱۳۷۸) با استفاده از باند حرارتی TM (باند ۶) دمای سطح آب دریاچه‌ی مهارلو در فارس را محاسبه کردند. در این مطالعه با توجه به باندهای مادون قرمز حرارتی سنجنده TM جهت طبقه‌بندی دمای سطح آب دریاچه‌ی مهارلو از فرمول پیشنهاد شده توسط متخصصین دانشگاه پردو^۳ استفاده شده است.

با استفاده از سنجنده‌ی AVHRR کریمی (۱۳۸۰) نقشه‌ی دمای سطح دریا (SST) را در منطقه‌ی خلیج فارس بررسی کرده است و بین نقشه‌ی حاصله از داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های اندازه‌گیری شده بر روی دریا رابطه‌ی معنی‌داری به دست آورده است. رابطه‌ی محاسبه شده به صورت زیر است:

$$SST = 0.987T_4 - 0.183(BT_4 - BT_5) + 1/331 \quad (6-2)$$

T₅ و T₄ دمای روشنایی باندهای ۴ و ۵ سنجنده‌ی AVHRR و B ضریب رگرسیون است.

¹ - Termal bar

² - Lodagan

³ - Pordo

در این تحقیق ارتباط عمق با تغییرات دمایی در خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت، ضمناً بررسی شد که نمی‌توان تنها عمق کم منطقه را دلیل تغییرات دمایی بالا در این منطقه ذکر کرد. به همین منظور دما در چند عمق مختلف استخراج گردید (در عرضها و عمقهای مختلف)، تا این ارتباط از این طریق سنجیده شود. میزان تغییرات دما در نواحی کم عمق در عرضهای بالاتر بیشتر از عرضهای پایین است.

سراجیان و انصاری (۱۳۸۱) با استفاده از تصاویر NOAA و روش Split Window با دقت 0.5°C به محاسبه بیلان آبی دریاچه ی خزر و بررسی روند تبخیر در سطح دریاچه پرداختند. آخوندزاده و سراجیان به تهیه نقشه‌ی دمای سطحی دریاچه‌ی خزر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز^۱ MODIS پرداختند.

با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی AVHRR، پوراصغر (۱۳۸۳) با پردازش ۱۲ تصویر از ۱۲ ماه سال و کالیبراسیون این تصاویر با داده‌های هواشناسی که در زمان گذر ماهواره اندازه‌گیری شده بودند، توزیع دمای سطح دریاچه‌ی ارومیه را تعیین نمود.

^۱ - MODIS= Moderate Resdution Imaging Spectroradiometer

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱ دما

۳-۱-۱ کلیات و هدف از اندازه‌گیری دمای آب:

دمای آب یکی از مهمترین مشخصه‌های آب دریا محسوب می‌شود. مقدار مطلق و تغییرپذیری آن برحسب زمان در نقاط و اعماق مختلف دریا تعیین‌کننده‌ی شرایط امکان زیست، توسعه موجودات گیاهی و جانوری همچنين نوع و نحوه‌ی فعالیت انسان در دریاست.

رژیم دمایی مناطق ساحلی دریا مبتنی بر اندازه‌گیریهای مداومی است که در عمق ۵۰ سانتی‌متری آب در ایستگاههای مختلف انجام می‌شود. آمار و اطلاعات دمای آب در مطالعات و محاسبات اقیانوس‌شناسی از جمله (بیلان حرارتی آب، روند توسعه اقلیم، آموزشهای دریانوردی و ...) قابل استفاده بوده و در عین فعالیتهای دریایی برخی از ارگانها، مردم ساحل‌نشین و واحدهای پیش‌بینی‌کننده در ارتباط مستقیم با شناخت این پارامتر هستند.

دمای آب لایه‌ی سطحی از نظر مکانی و زمانی تفاوت زیادی دارد علت این اختلاف عوامل زیر است:

- جذب انرژی تابشی خورشید توسط دریا (گرم شدن)
- بازتاب انرژی گرمایی از دریا بخصوص در شبهای صاف (سرد شدن)
- تماس سطح آب دریا با هوای گرمتر و یا سردتر (گرم یا سرد شدن)
- سرد شدن بهنگام وقوع پدیده‌ی تبخیر
- جابه‌جایی آبهای گرمتر لایه‌های بالایی با آبهای سرد لایه‌های پایینی و برعکس
- جابه‌جایی در اثر ذرات سنگین‌تر آب سرد و جانشینی آن با آب سبکتر گرم تحت تأثیر امواج و جریانات دریایی

- به هنگام ذوب شدن یخ، دمای آب معمولاً در حدود نقطه‌ی انجماد حفظ می‌شود. با تغییر دمای آب، چگالی آب دریا نیز تغییر خواهد کرد، به هنگام کاهش دما به حد پایین‌تر از نقطه‌ی انجماد یخ تشکیل می‌شود، اگر آب شیرین در صفر درجه یخ بزند آب دریا با شوری ۱۵-۱۰ در هزار در دمای ۰/۵ تا ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد یخ می‌زند.

۳-۱-۲ روشهای مرسوم اندازه‌گیری دما در آب دریا

قدیمی‌ترین اندازه‌گیریهای SST^۱ توسط کشتی‌ها انجام می‌گرفت. به طوری که حجمی از آب را برمی‌داشتند و دمای آن را با یک دماسنج جیوه‌ای محاسبه می‌کردند. در واقع دمای آبهای سطحی را می‌توان با یک دماسنج ساده بدست آورد. در حال حاضر دماسنجهای دو نوع هستند:

۱. **دماسنجهای برگشت‌پذیر^۲**: این دماسنجهای دارای یک زائده باریک هستند و بعد از نمونه‌برداری آب و محاسبه دما، اجازه‌ی برگشت دوباره جیوه را به مخزن نمی‌دهند این دماسنجهای برای اندازه‌گیری دمای سطحی آبها در محل ساخته شده که شامل لوله‌ی موئینی است که به یک پیچ دم‌خوکی شکل، بلافاصله پس از مخزن جیوه متصل است. دماسنج به حالت ایستاده در آب رها می‌شوند و در نتیجه جیوه قادر است ضمن تماس با آب، عکس‌العمل نشان داده و مقادیری از جیوه را در لوله موئین انتقال دهد. اما وقتی دماسنج واژگون می‌شود، جیوه‌ی موجود در لوله‌ی موئین با مخزن تماسش قطع شده و در نتیجه جیوه‌ی موجود در لوله‌ی موئین حالت اولیه خود را پس از تماس با آب همچنان حفظ می‌نماید. این نوع دماسنجهای دو گونه‌اند:

الف) دماسنجهای برگشت‌پذیری که مخزن جیوه در ارتباط مستقیم با آب دریا نیست.

ب) دماسنجهای برگشت‌پذیری که مخزن جیوه در ارتباط مستقیم با آب دریاست.

۲. **ترمومترهای آب^۳**: که تا عمق یک متر دما را اندازه‌گیری می‌کند و برای اندازه‌گیری دمای سطح دریا از سنسورهای حساس به دما به نام ترمیستور^۴ نیز استفاده می‌شود که می‌تواند روی دستگاههای CTD^۵ (دستگاههای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، دما و فشار) نصب شوند. ترمومترها روی دستگاههای نمونه‌برداری آب^۶ نصب می‌شوند که خود دارای انواعی مانند Nansen و Nisskin هستند.

دماسنجهای مورد استفاده باید توسط نقاطی که دمای معلوم دارند مانند دمای ذوب یخ و دمای جوش آب کالیبره شوند.

۳-۲ جمع‌آوری اطلاعات

۳-۲-۱ تصاویر ماهواره‌ای

-
1. SST: Sea Surface Temperature
 2. Reversible Thermometers
 1. Water Thermometers
 2. Thermistor
 3. Conductivity Temperature Depth Profiler
 4. Water Samplers

تصاویر سنجنده‌ی AVHRR نصب‌شده بر روی ماهواره‌ی NOAA۱۶ و NOAA۱۴ اطلاعات پایه‌ی تحقیق را تشکیل می‌دهند. تجزیه و تحلیل اصلی بر روی همین اطلاعات انجام شد. به منظور امکان کالیبره نمودن اطلاعات و دمای سطحی آب (SST) به دست آمده از تصاویر اندازه‌گیری‌های محلی ضروری است بدین لحاظ دمای سطحی آب به منظور مقایسه با مقادیر به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای توسط محقق و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به صورت عملیات میدانی اندازه‌گیری شده است. انتخاب تصاویر به گونه‌ای است که حتی‌الامکان قابلیت مقایسه و کالیبراسیون آنها با این اطلاعات محلی فراهم شود، اندازه‌گیری میدانی مربوط به ۶ مورد عملیات میدانی در سال ۲۰۰۵ توسط محقق و ۴ عملیات میدانی در سال ۲۰۰۳ میلادی توسط مرکز ملی اقیانوس‌شناسی است. عملیات میدانی رأس ساعت عبور ماهواره و عکسبرداری آن صورت گرفته است. از جمله محدودیت‌ها در انتخاب تصاویر وجود ابر در منطقه است. به منظور تعیین و مقایسه زمانی و مکانی دمای سطح آب دریاچه‌ی خزر، ۱۰ تصویر از سنجنده‌ی AVHRR متعلق به ۱۰ روز مختلف و ماههای مختلف انتخاب و از سازمان فضایی ایران دریافت شده است.

۳-۲-۲ داده‌های دریایی

برای تعیین دقت داده‌های دمایی استخراج‌شده از تصاویر، نیاز به داده‌های اندازه‌گیری شده به عنوان اطلاعات مرجع جهت مقایسه می‌باشد. به این منظور از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی میدانی استفاده می‌شود. یکی از محدودیتهای مطالعاتی این تحقیق و اغلب تحقیقات مشابه، کمبود اطلاعات پایه و ناپیوستگی در این اطلاعات است. اطلاعات جمع‌آوری شده‌ی دمای سطح دریاچه‌ی خزر مربوط به سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ میلادی است. در محدوده‌ی جنوبی دریاچه‌ی خزر محقق و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به صورت دستی و با دماسنج دیجیتالی به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به دمای سطح در نقاط و روزهای مختلف در سطح دریاچه‌ی خزر نموده است.

۳-۳-۳ نرم‌افزار و سخت‌افزار

در این تحقیق از نرم‌افزارهای پردازش تصویری شامل نرم‌افزار STARS، IDRISI، ERDAS و همچنین نرم‌افزار Surfer و Pci و نرم‌افزارهای عمومی از قبیل Excel، Word و Paint استفاده شده است. سخت‌افزار مورد استفاده یک دستگاه کامپیوتر پنتیوم چهار، ماشین حساب، اسکنر و پرینتر برای خروجی گرفتن بوده است.

۳-۳ روش تحقیق

۱. پیش‌پردازش داده‌های سنجنده‌ی AVHRR

تصاویر دریافتی از ماهواره دارای خطاهایی است که بعضی از این خطاها قابل پیش‌بینی و بعضی‌ها غیرقابل پیش‌بینی است. مرحله‌ی پیش‌پردازش داده‌ها، از بین بردن این خطاها می‌باشد که قبل از کالیبراسیون باید روی تصاویر انجام شود.

۲. حذف نوفه^۱

نوفه در تصاویر ماهواره‌ای یک امر ناخواسته‌ای است که در اثر محدودیتهای موجود در سنجنده بخصوص در هنگام دریافت و رقومی شدن سیگنالهای ارسال شده از سطح زمین و یا حین عمل‌آوری ضبط داده‌ها به وجود می‌آید. از عوامل عمده‌ی ایجاد نوفه، بدکار کردن آشکارسازها و تداخل الکترونیکی میان اجزاء سنجنده‌ها است.

۳. کالیبراسیون رادیومتریک^۲

خطای رادیومتریک زمانی رخ می‌دهد که انرژی الکترومغناطیسی گسیل‌شده یا بازتابیده از یک شیء یا پدیده که توسط سنجنده دریافت می‌شود، با انرژی مشاهده شده یا گسیل‌شده یا بازتابیده از همان شیء یا پدیده از فاصله نزدیک یکسان نباشد که به دلیل سمت و ارتفاع خورشید، محتوای جو، پاسخ سنجنده و یا مواردی از این قبیل است که این اثرات ناخواسته در رادیومتری باید تصحیح شوند.

۴. تصحیحات هندسی

یک تصویر خام سنجنش از دور فاقد ویژگیهای هندسی و مختصات واقعی پدیده‌ها بر روی سطح زمین است. با وجود این می‌توان با تغییر برخی از خصوصیات تصویر خام، آن را به شرایط واقعی در سطح زمین نزدیک نمود. بنابراین انجام تصحیحات هندسی قبل از هرگونه پردازش ضروری است. در مورد NOAA/AVHRR به دلیل قدرت تفکیک مکانی نسبتاً کم، اعوجاجات هندسی زیاد است. بنابراین با پیگیری یک روش دو مرحله‌ای می‌توان تصویر خام را به نقشه واقعی نزدیک نمود.

الف) تصحیح سیستماتیک

اعوجاجات سیستماتیک در کلیه‌ی تصاویر ماهواره‌ای موجود است. در نتیجه‌ی آنها، اعوجاجات اریبی نظاره‌گری، تغییرات سرعت آینه‌ی نظاره‌گری و سیستم خطی نظاره‌گری حاصل می‌شود. از آنجا که اعوجاجات مزبور سیستماتیک و قابل پیش‌بینی است لذا مقادیر آنها کاملاً برای کارگزاران

1. Noise

2. Radiometric Calibration

نرم افزارهای سنجش از دور شناخته شده است. در مواقع تهیه و تنظیم نرم افزارهای عمل آوری تصاویر سنجش از دور با توجه به مقادیر هر یک از پارامترهای مؤثر در اعوجاجات یاد شده به اصلاح و رفع نقایص هندسی مزبور در تصاویر ماهواره‌ای از طریق بهره‌گیری از ابزار الکترونیکی اقدام لازم صورت می‌گیرد. تصحیحات سیستماتیک با استفاده از نرم افزار STARS انجام شده است.

ب) تصحیح غیرسیستماتیک

اعوجاجات غیرسیستماتیک ثابت نیست و از تغییر ارتفاع (توپوگرافی) زمین، تغییر سرعت و تغییر موقعیت ماهواره‌ها ناشی می‌شود. هیچ یک از عوامل مزبور قابل پیش‌بینی نیستند و بنابراین، ایجاد آنها در همه‌ی تصاویر حتمی نیست. این اعوجاجات باید از طریق بررسی‌های زمینی و کنترل اطلاعات ماهواره‌ای ارزیابی و مرتفع شوند، لذا اصلاح اعوجاجات یاد شده از طریق به کارگیری نقاط کنترل زمینی و یا تعیین محل دقیق آنها بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌گیرد.

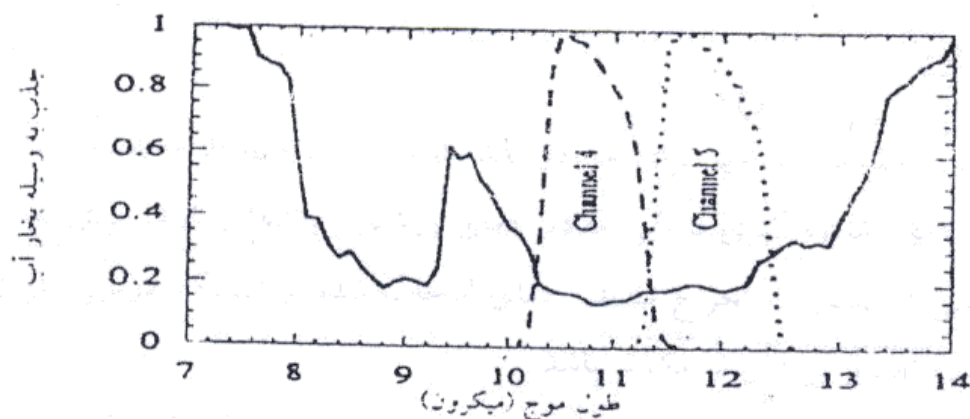
بدین منظور با تعیین مختصات این نقاط در روی تصویر، نسبت به تعیین محل دقیق جغرافیایی آن در روی زمین اقدام می‌شود. در فرآیند اصلاحات مزبور، مختصات جغرافیایی نقاط کنترل زمینی که به آسانی قابل شناسایی باشند تثبیت می‌شود و از طریق مختصات جغرافیایی پیکسل‌های همجوار و دیگر پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای تعیین می‌شود. تصحیحات غیرسیستماتیک برای تمام تصاویر توسط نرم افزار STARS انجام شده است.

۳-۳-۱ محاسبه‌ی دمای آب

دمای استخراج شده برای باندهای ۴ و ۵ که به دمای روشنایی یا دمای ثابتی معروف هستند را نمی‌توان مستقیماً به عنوان دمای اجسام سنجش شده به کار برد. این دما متأثر از ضریب گسیلمندی، دمای اجسام، اتمسفر و خطاهای مربوط به سیستم سنجش است.

بحث اصلی تصحیحات، اصولاً شامل تصحیحات اتمسفری است که این عمل برای کاهش و حذف اثرات گازها و ذرات اتمسفر بخصوص بخار آب انجام می‌گیرد. به همین منظور روشهای متعددی برای تصحیحات اتمسفری به وسیله‌ی محققین پیشنهاد شده است. برای به دست آوردن رابطه‌ای که بتوان به وسیله‌ی آن دمای روشنایی را به دمای جسم تبدیل کرد نیاز به دماهای اندازه‌گیری شده‌ی زمینی داریم تا با استفاده از آنها، دمای روشنایی باندها و همچنین اختلاف بین باندها رابطه‌ای برای محاسبه‌ی دما بدست آورد که این عمل در حقیقت کالیبراسیون با داده‌های زمینی را نیز شامل می‌شود.

روشهای مختلفی برای محاسبه‌ی دمای سطح آب از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که بهترین و کارآمدترین آن روش Split window است (شکل ۳-۱). با توجه به باندهای مورد استفاده و به علت اینکه تصاویر مورد بررسی فقط هنگام روز است تنها از روشهای Split window استفاده شده است.



۱-۳: در روش Split Window با استفاده از تفاوت جذب در دو باند ۴ و ۵ تصاویر AVHRR اثر اتمسفر تصحیح می‌شود. (منبع: ۲)

این روش از تفاوت جذب توسط بخار آب در دو باند ۴ و ۵ استفاده می‌کند، با این روش یک تصحیح اتمسفری نیز در محاسبه دخالت داده می‌شود، اکثراً دماهای به دست آمده از تصاویر را با دماهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مستقر بر روی دریا مقایسه می‌کنند و با استفاده از روشهای آماری معادلاتی برای تصحیح این دماها محاسبه می‌کنند.

۲-۳-۳ رسم خطوط هم‌دما و نمودارها

برای تعیین وضعیت دمای سطح آب دریای خزر از روی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای PCI، ERDAS، دمای نقاط شبکه با در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی ثبت شد. سپس نقشه‌ی دیجیتالی مناسبی برای دریای خزر تهیه شد و خطوط هم‌دما با استفاده از نرم‌افزار Surfer برای دریاچه‌ی خزر رسم شد.

۳-۳-۳ آماده‌سازی آمار و اطلاعات موجود

آمار و اطلاعات توسط محقق و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی در قسمتهای مختلف دریاچه‌ی خزر جنوبی تهیه شد. جهت استفاده از اطلاعات موجود، داده‌ها توسط نرم‌افزار Excel مرتب گردید.

۳-۳-۴ تعیین مدل آماری

تعیین مدل در خزر جنوبی از میانگین دمای سطح دریا استفاده شده است. به این صورت که با استفاده از نرم افزار PCI، دمای سطح دریاچه‌ی خزر با مشخص بودن طول و عرض جغرافیایی در نقاط مختلف مشخص شد. سپس خزر جنوبی به ۱۱ قسمت مختلف تقسیم گردید. قسمت‌های مختلف عبارت بودند از: جنوب، جنوب شرق، جنوب غرب، شرق، غرب، مرکزی جنوب، مرکزی شمال، شمال شرق، شمال غرب و خلیج قره‌بغار. و برای هر قسمت دمای نقاط مختلف استخراج و سپس میانگین‌گیری شد.

همچنین دمای سطح خزر جنوبی با استفاده از یک دماسنج دیجیتال با دقت ± 0.1 که با استفاده از نقاطی که دمای معلوم دارند مانند دمای ذوب یخ و جوش آب کالیبره شده است، در نقاط مختلف که طول و عرض جغرافیایی آن توسط GPS^۱ تعیین شده بود در روزها و ماهها و سالهای مختلف (۱۰ عملیات میدانی) تعیین و سپس همان نقاط با طول و عرض جغرافیایی روی تصاویر ماهواره‌ای مشخص و دما با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد سپس نمودار مربوط بین دو دمای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی در ایستگاه‌های مشخص رسم گردید و بعد از آن خطای نسبی بین این دو داده تعیین شد، که در زیر به بررسی آن می‌پردازیم.

با آگاهی از کاربری این دستگاه با توجه به کارهای عملی که قبلاً انجام گرفته بود بر روی آب پیوسته موقعیت را تعیین و بر روی نقشه‌های مربوط منتقل شد، تا دید کلی و بهتری از نقاط مورد تحقیق به وجود آید. با توجه به مقدمه فوق می‌توان مطمئن بود که تحقیقات انجام شده از نظر ارائه‌ی موقعیتها دارای دقت عمل بسیار بالایی است.

1. Global Positioning System:

این دستگاه قادر است در هر لحظه از شبانه‌روز موقعیت جغرافیایی هر نقطه در روی کره زمین را تعیین و اعلام کند. این مختصات شامل طول و عرض جغرافیایی نقاط و همچنین ارتفاع و سرعت و بعضی مشخصات دیگر نیز است. این دستگاه که در ابتدا در امور نظامی کاربری داشته اینک حدود دو دهه است که امکانات استفاده از آن برای سایر کاربران و بخصوص کارشناسانی که به نحوی با طبیعت سروکار دارند فراهم شده است و استفاده از آن در هواپیما، کشتی، اتومبیل و غیره کاری بسیار رایج و عمومی است. اصول کار GPS براساس تعیین موقعیت مجهول با کمک چند نقطه‌ی معلوم است. بدین منظور تعداد ۲۴ ماهواره در شش مدار به فاصله حدود ۲۰/۰۰۰ تا ۲۶۰۰۰ کیلومتری زمین در چرخشند که هر کدام در ۲۴ ساعت دوبار زمین را دور زده و موقعیت دقیق آنها با کمک ایستگاههای کنترل زمینی پیوسته کنترل و تصحیح و از این طریق گیرنده‌های زمینی می‌توانند در هر لحظه مختصات خود را دریابند که دقت آن با دستگاههای بزرگ، فوق‌العاده زیاد و با چی‌پی‌اس‌های کوچک می‌تواند در حد مطلوب باشد.

۵-۳-۳ انتخاب مدل مناسب

از جمله معیارهای مناسب برای مقایسه‌ی مدلها، خطای نسبی است. معیار پذیرفتن مدل هنگامی که از خطای نسبی استفاده می‌شود، این است که خطای نسبی به سمت کمتر از ۴۰ درصد میل کند. برای محاسبه‌ی خطای نسبی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$R_e = \left| \frac{y_0 - y_e}{y_0} \right| \times 100 \quad (16-3)$$

که در این رابطه:

y_0 : مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته

y_e : مقدار تخمینی متغیر وابسته

R_e : خطای نسبی

است.

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۱-۴ نتایج بدست آمده از تصاویر

در این فصل به مقایسه‌ی داده‌های حاصل از عملیات میدانی که در ساعت گذر ماهواره صورت گرفته و داده‌های مربوط به تصاویر ماهواره‌ای می‌پردازیم:

۱-۴-۱-۱ روز ۲۰۰۵/۵/۲۴ (۸۴/۳/۳):

نمونه برداری در ساعت ۱۱:۲۲ همزمان با گذر ماهواره صورت گرفت. در جدول ۱-۴ می‌توان داده‌های مربوط به عملیات میدانی را دید. دمای میانگین سطح حاصل از داده‌های ماهواره‌ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است:

۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۲ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی : ۲۱/۲۷

۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی : ۲۱/۵۶

۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در شرق خزر جنوبی : ۲۰/۶۹

۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۶ ایستگاه در مرکزی جنوب خزر جنوبی : ۱۹/۱۹

۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غربی خزر جنوبی : ۲۱/۰۱

۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی : ۲۰/۱۵

به دلیل ابری بودن هوا دمای میانگین سطحی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای در نیمه‌ی شمالی خزر جنوبی قابل استخراج نبود. بیشینه دما مربوط به جنوب شرقی است با مقدار ۲۱/۵۶ و کمینه‌ی دما مربوط به مرکزی جنوبی است با مقدار ۱۹/۱۹ .

جدول ۱-۴ : مقایسه‌ی داده‌های حاصل از عملیات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه‌گیری دمای سطح و خطای نسبی حاصل از مقایسه‌ی داده‌های ماهواره‌ای و میدانی است.

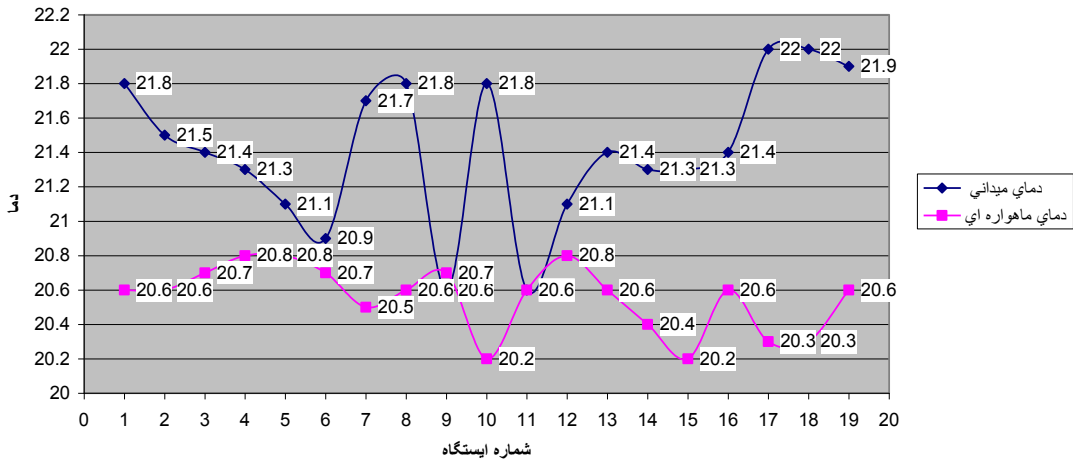
جدول ۴-۱: داده‌های سطح خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۱ ۱۵ ۰۲	۳۶ ۴۵ ۴۷	۲۱/۸	۲۰/۶	۵/۵۰٪
۲	۵۱ ۱۴ ۵۳	۳۶ ۴۵ ۵۳	۲۱/۵	۲۰/۶	۴/۱۹٪
۳	۵۱ ۱۵ ۰۳	۳۶ ۴۵ ۵۴	۲۱/۴	۲۰/۷	۳/۲۷٪
۴	۵۱ ۱۴ ۵۸	۳۶ ۴۵ ۵۶	۲۱/۳	۲۰/۸	۲/۳۵٪
۵	۵۱ ۱۵ ۰۳	۳۶ ۴۵ ۵۹	۲۱/۱	۲۰/۸	۱/۴۲٪
۶	۵۱ ۱۴ ۵۶	۳۶ ۴۶ ۰۳	۲۰/۹	۲۰/۷	۵/۴۸٪
۷	۵۱ ۱۵ ۰۳	۳۶ ۴۶ ۰۶	۲۱/۷	۲۰/۵	۵/۵۳٪
۸	۵۱ ۱۵ ۰۹	۳۶ ۴۶ ۰۴	۲۱/۸	۲۰/۶	۵/۵۰٪
۹	۵۱ ۱۵ ۱۳	۳۶ ۴۶ ۰۷	۲۰/۶	۲۰/۷	۰/۴۸٪
۱۰	۵۱ ۱۵ ۱۹	۳۶ ۴۶ ۰۴	۲۱/۸	۲۰/۲	۷/۳۳٪
۱۱	۵۱ ۱۵ ۲۵	۳۶ ۴۶ ۰۵	۲۰/۶	۲۰/۶	۰/۹۸٪
۱۲	۵۱ ۱۵ ۲۴	۳۶ ۴۵ ۵۹	۲۱/۱	۲۰/۸	۱/۴۲٪
۱۳	۵۱ ۱۵ ۱۷	۳۶ ۴۵ ۵۹	۲۱/۴	۲۰/۶	۳/۷۴٪
۱۴	۵۱ ۱۵ ۱۱	۳۶ ۴۵ ۵۷	۲۱/۳	۲۰/۴	۴/۲۲٪
۱۵	۵۱ ۱۵ ۱۹	۳۶ ۴۵ ۵۵	۲۱/۳	۲۰/۲	۵/۱۶٪
۱۶	۵۱ ۱۵ ۲۴	۳۶ ۴۵ ۵۴	۲۱/۴	۲۰/۶	۳/۷۳٪
۱۷	۵۱ ۱۵ ۱۸	۳۶ ۴۵ ۴۵	۲۲/۰	۲۰/۳	۷/۷۳٪
۱۸	۵۱ ۱۵ ۲۳	۳۶ ۴۵ ۴۶	۲۲/۰	۲۰/۳	۷/۷۳٪
۱۹	۵۱ ۱۵ ۲۹	۳۶ ۴۵ ۴۷	۲۱/۹	۲۰/۶	۵/۹۴٪

با استفاده از جدول ۴-۱ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و ماهواره‌ای را در

شکل ۴-۱ خواهیم داشت:

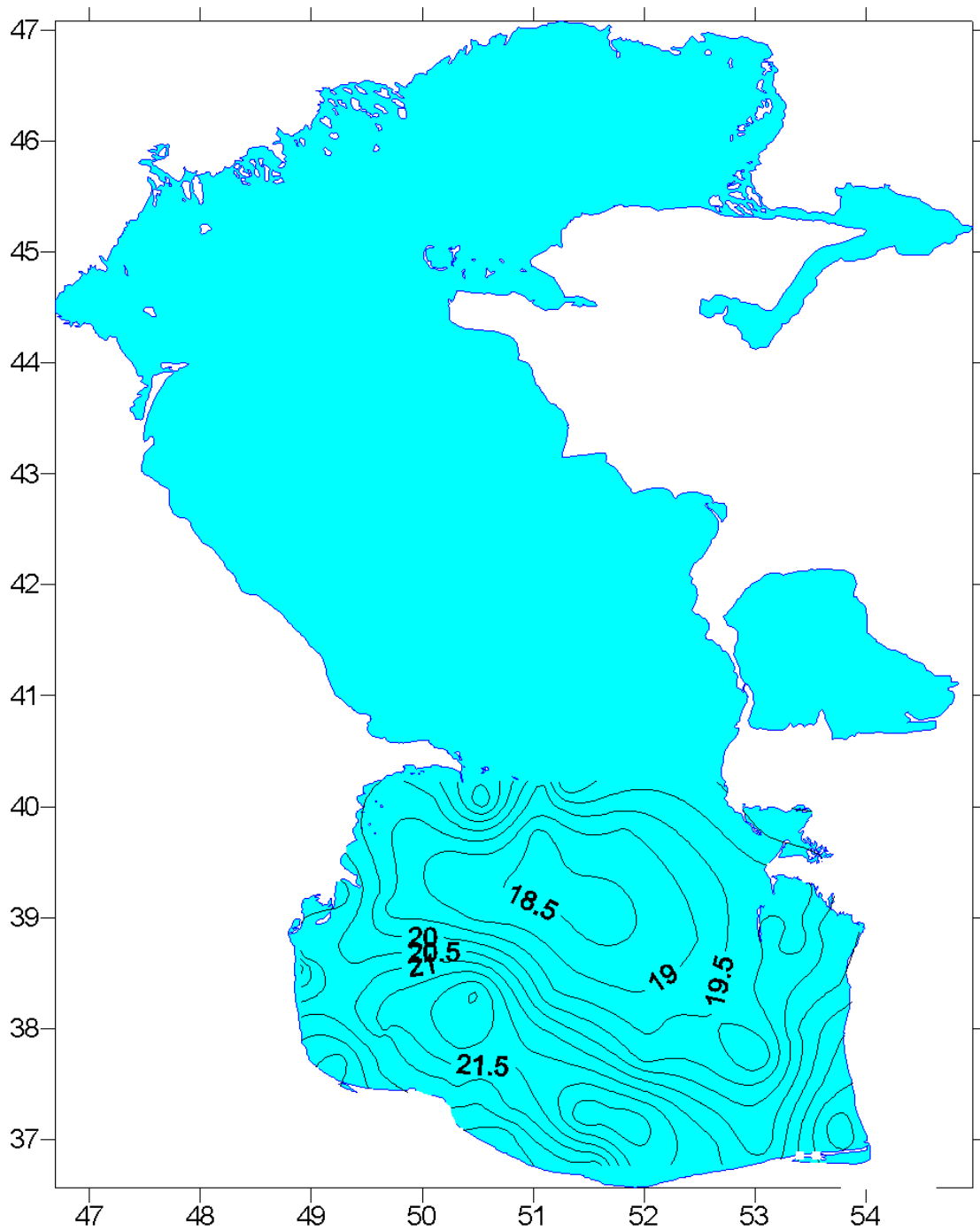
توزیع دما در تاریخ 25.05.2005



شکل ۴-۱: توزیع دمای سطحی خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده است که در شکل ۴-۲ می‌توان

دید.



شکل ۴-۲: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۴-۱-۲ روز ۲۳/۶/۲۰۰۵ (۸۴/۴/۲)

نمونه برداری در ساعت ۱۱:۲۵ همزمان با گذر ماهواره صورت گرفته است. جدول ۴-۲ حاوی اطلاعات راجع به دمای سطحی حاصل از داده‌های میدانی و ماهواره‌ای، طول و عرض جغرافیایی و خطای نسبی است. دمای میانگین سطح حاصل از داده‌های ماهواره‌ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به شرح زیر است:

- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۵ ایستگاه در خلیج قره‌بغاز: ۲۵/۱۴
 - ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۲ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۱/۶۳
 - ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال غربی خزر جنوبی: ۲۱/۵۳
 - ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۸ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۲/۳۲
 - ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۵ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۳/۸۳
 - ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۲/۶۷
 - ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۳/۷۷
 - ۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۸ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۱/۷۸
 - ۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۲۱/۵۷
 - ۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۰ ایستگاه در مرکزی شمالی خزر جنوبی: ۲۱/۴۵
 - ۱۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۹ ایستگاه در مرکزی جنوبی خزر جنوبی: ۲۲/۸۹
- بیشینه دما مربوط به خلیج قره‌بغاز است با مقدار ۲۵/۱۴ و کمینه‌ی دما مربوط به مرکزی

شمالی خزر جنوبی با مقدار ۲۱/۴۵ است.

جدول ۴-۲ مقایسه‌ی داده‌های حاصل از عملیات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری دمای سطح و خطای نسبی حاصل از مقایسه‌ی داده‌های ماهواره‌ای و میدانی است.

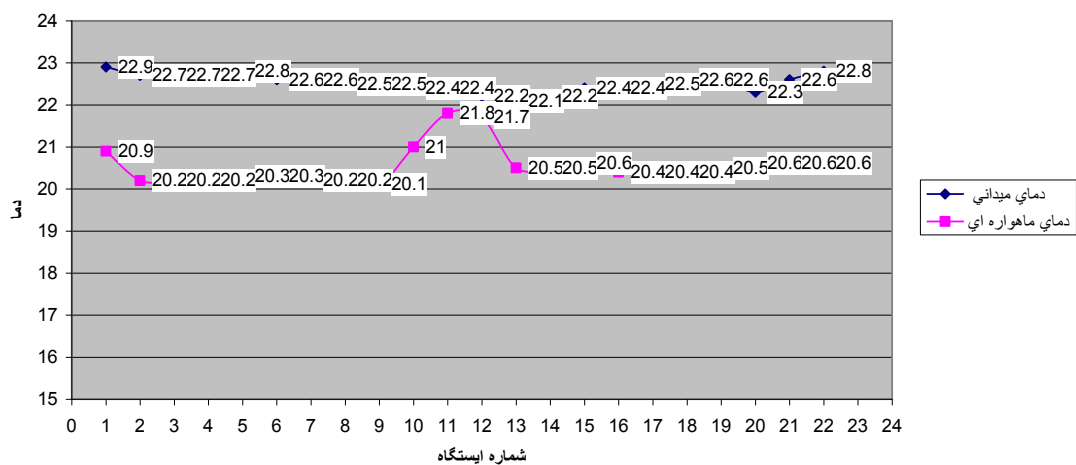
جدول ۴-۲: داده‌های دمای سطح خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۱ ۱۲ ۲۰	۳۶ ۴۳ ۳۰	۲۲/۹	۲۰/۹	۸/۷۳٪
۲	۵۱ ۱۲ ۲۵	۳۶ ۴۳ ۳۵	۲۲/۷	۲۰/۲	۱۱/۰۱٪
۳	۵۱ ۱۲ ۳۰	۳۶ ۴۳ ۳۸	۲۲/۷	۲۰/۲	۱۱/۰۱٪
۴	۵۱ ۱۲ ۳۵	۳۶ ۴۳ ۳۶	۲۲/۷	۲۰/۲	۱۱/۰۱٪
۵	۵۱ ۱۲ ۴۲	۳۶ ۴۳ ۳۲	۲۲/۸	۲۰/۳	۱۰/۹۶٪
۶	۵۱ ۱۲ ۴۴	۳۶ ۴۳ ۳۹	۲۲/۶	۲۰/۳	۱۰/۱۸٪
۷	۵۱ ۱۲ ۳۷	۳۶ ۴۳ ۴۱	۲۲/۶	۲۰/۲	۱۰/۶۲٪
۸	۵۱ ۱۲ ۳۲	۳۶ ۴۳ ۴۲	۲۲/۵	۲۰/۲	۱۰/۲۲٪
۹	۵۱ ۱۲ ۲۷	۳۶ ۴۳ ۴۳	۲۲/۵	۲۰/۱	۱۰/۶۷٪
۱۰	۵۱ ۱۲ ۲۷	۳۶ ۴۳ ۴۷	۲۲/۴	۲۱/۰	۶/۲۵٪
۱۱	۵۱ ۱۲ ۳۴	۳۶ ۴۳ ۵۰	۲۲/۴	۲۱/۸	۷/۱۴٪
۱۲	۵۱ ۱۲ ۲۲	۳۶ ۴۳ ۵۴	۲۲/۲	۲۱/۷	۲/۲۵٪
۱۳	۵۱ ۱۲ ۱۲	۳۶ ۴۳ ۵۶	۲۲/۱	۲۰/۵	۷/۲۴٪
۱۴	۵۱ ۱۲ ۰۶	۳۶ ۴۳ ۵۴	۲۲/۲	۲۰/۵	۷/۶۶٪
۱۵	۵۱ ۱۲ ۱۴	۳۶ ۴۳ ۵۰	۲۲/۴	۲۰/۶	۸/۰۴٪
۱۶	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۴۸	۲۲/۴	۲۰/۴	۸/۹۳٪
۱۷	۵۱ ۱۲ ۰۰	۳۶ ۴۳ ۴۶	۲۲/۵	۲۰/۴	۹/۳۳٪
۱۸	۵۱ ۱۲ ۰۲	۳۶ ۴۳ ۴۲	۲۲/۶	۲۰/۴	۹/۷۳٪
۱۹	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۳۸	۲۲/۶	۲۰/۵	۹/۲۹٪
۲۰	۵۱ ۱۲ ۱۴	۳۶ ۴۳ ۵۰	۲۲/۳	۲۰/۶	۷/۶۲٪
۲۱	۵۱ ۱۲ ۲۰	۳۶ ۴۳ ۳۸	۲۲/۶	۲۰/۶	۸/۸۵٪
۲۲	۵۱ ۱۲ ۱۷	۳۶ ۴۳ ۳۳	۲۲/۸	۲۰/۶	۹/۶۵٪

با استفاده از جدول ۴-۲ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و ماهواره‌ای را در

شکل ۴-۳ خواهیم داشت:

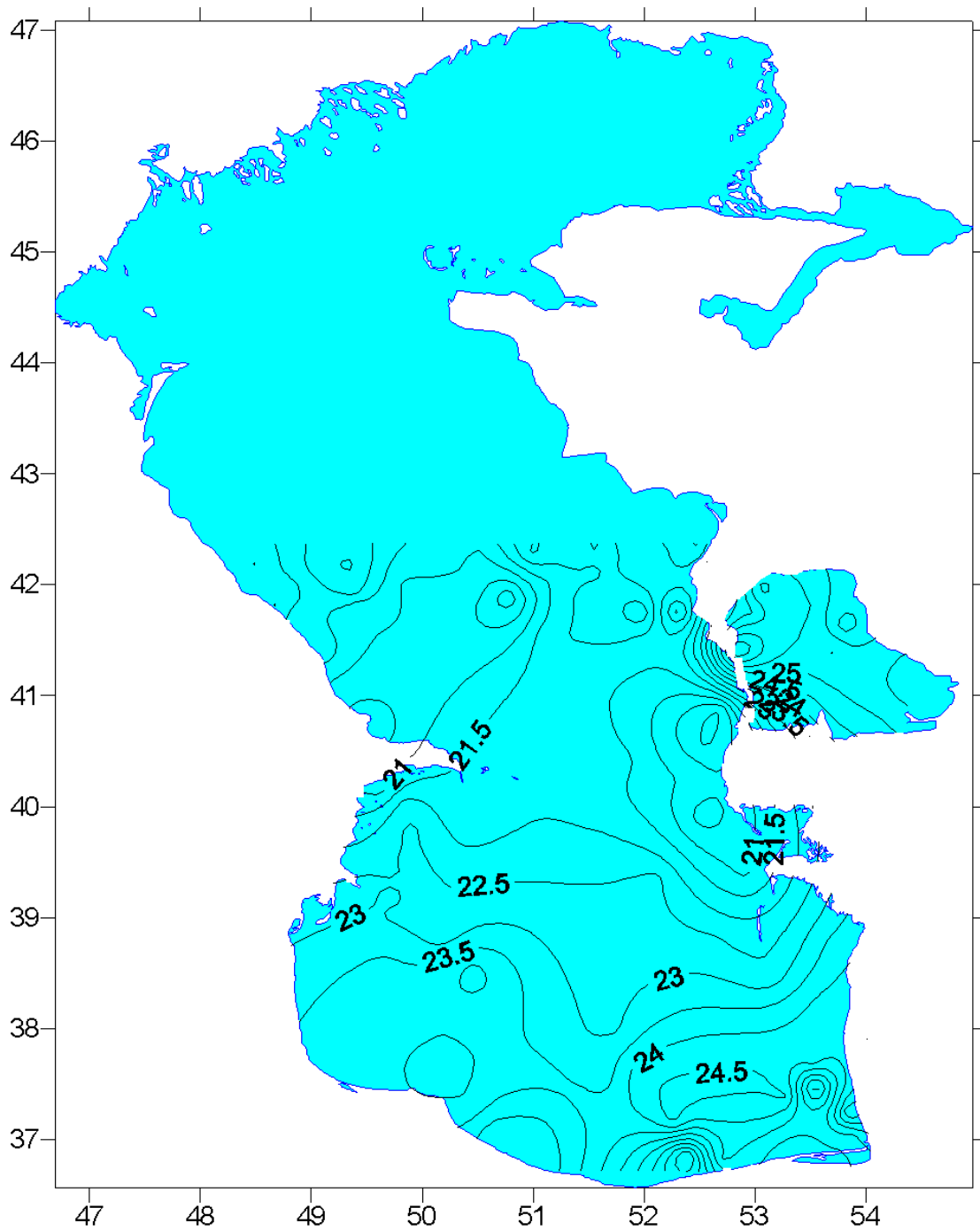
توزیع دما در 23.06.2005



شکل ۴-۳: توزیع دمای سطحی خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده است که در شکل ۴-۴ می‌توان

دید:



شکل ۴-۴: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۳-۱-۴ روز ۲۴/۶/۲۰۰۵ (۸۴/۴/۳)

نمونه برداری در ساعت ۱۱:۱۵ همزمان با گذر ماهواره صورت گرفت. در جدول ۳-۴ می توان داده های مربوط به این عملیات میدانی را دید. دمای میانگین سطح حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است:

- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۲/۲۹
- ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۴/۶۳
- ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۴/۲۵
- ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۵ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۲/۶۳
- ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۲/۴۲
- ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۵ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۰/۹
- ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۲۲/۰۶
- ۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۵۰ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۱/۷۳
- ۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۳۰ ایستگاه در مرکزی جنوبی خزر جنوبی: ۲۴/۹۰
- ۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۶۰ ایستگاه در مرکزی شمالی خزر جنوبی: ۲۲/۰۶
- ۱۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۰ ایستگاه در خلیج قره باغ خزر جنوبی: ۲۵/۸۶

بیشینه دما مربوط به خلیج قره باغ و کمینه دما مربوط به قسمت شمال شرق و مرکزی شمالی خزر جنوبی است.

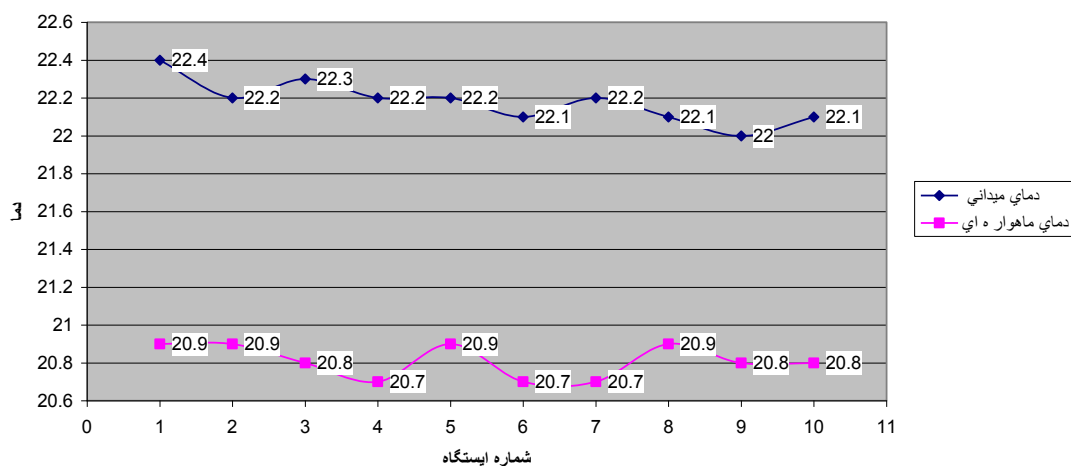
در جدول ۳-۴ می توان به مقایسه دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای، طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری دمای سطح و خطای نسبی حاصل از مقایسه داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

جدول ۴-۳: داده‌های دمای سطح خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۱ ۱۱ ۵۵	۳۶ ۴۳ ۱۰	۲۲/۴	۲۰/۹	۶/۷٪
۲	۵۱ ۱۱ ۵۴	۳۶ ۴۳ ۷	۲۲/۲	۲۰/۹	۵/۸۶٪
۳	۵۱ ۱۱ ۵۸	۳۶ ۴۳ ۱۱	۲۲/۳	۲۰/۸	۶/۷۲٪
۴	۵۱ ۱۱ ۵۹	۳۶ ۴۳ ۱۵	۲۲/۲	۲۰/۷	۶/۷۶٪
۵	۵۱ ۱۱ ۵۳	۳۶ ۴۳ ۱۷	۲۲/۲	۲۰/۹	۵/۸۶٪
۶	۵۱ ۱۱ ۵۰	۳۶ ۴۳ ۱۹	۲۲/۱	۲۰/۷	۶/۳۳٪
۷	۵۱ ۱۱ ۴۸	۳۶ ۴۳ ۲۰	۲۲/۲	۲۰/۷	۶/۷۶٪
۸	۵۱ ۱۱ ۴۷	۳۶ ۴۳ ۲۲	۲۲/۱	۲۰/۹	۵/۴۳٪
۹	۵۱ ۱۱ ۴۷	۳۶ ۴۳ ۲۳	۲۲/۰	۲۰/۸	۵/۴۵٪
۱۰	۵۱ ۱۱ ۴۹	۳۶ ۴۳ ۲۵	۲۲/۱	۲۰/۸	۵/۸۸٪

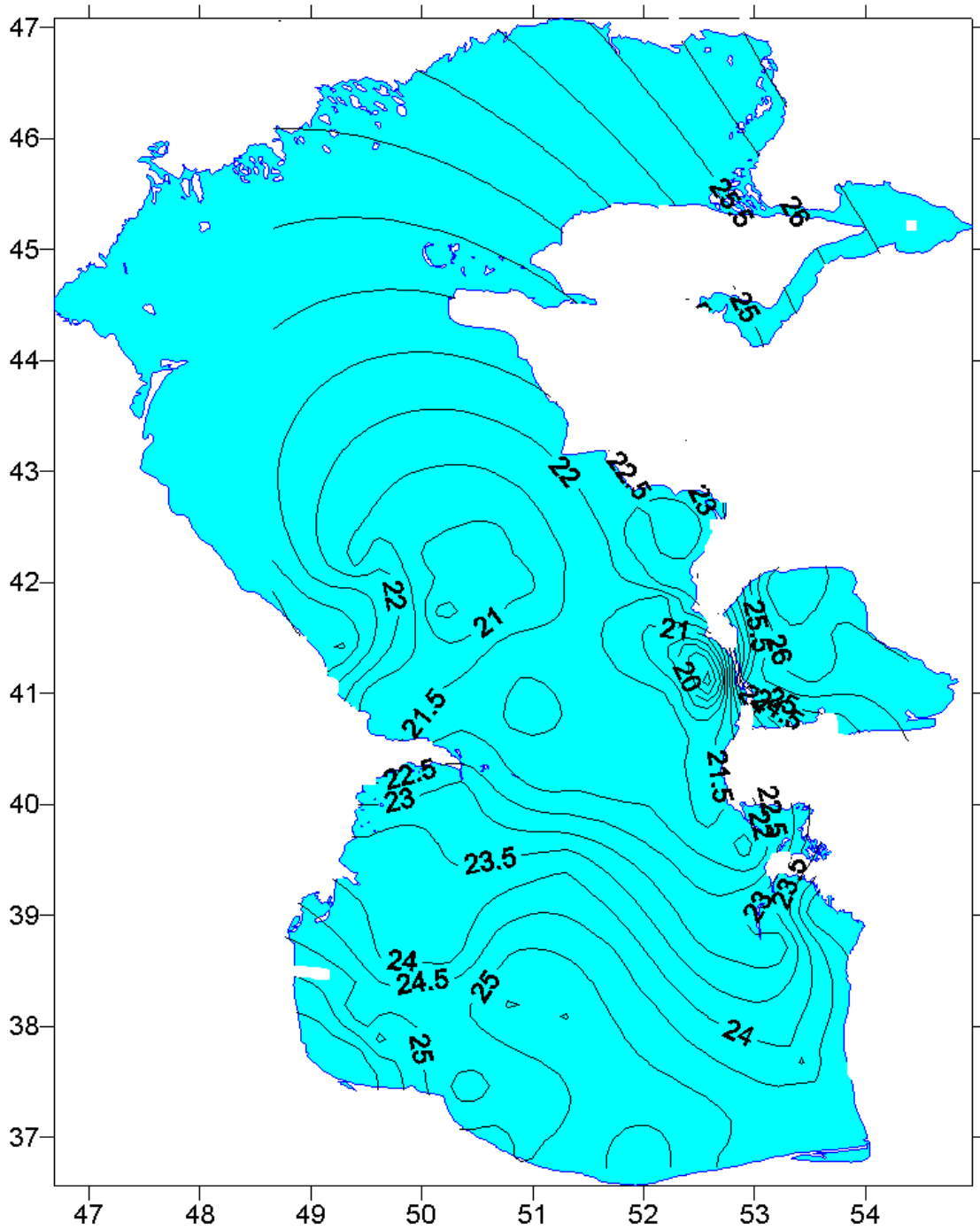
با استفاده از جدول ۴-۳ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی ماهواره‌ای را به در شکل ۴-۵ خواهیم داشت:

توزیع دما در تاریخ 24.06.2005



شکل ۴-۵: توزیع دمای سطح خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده است که می‌توان در شکل ۴-۶ مشاهده کرد.



شکل ۴-۶: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۴-۱-۴ روز ۲۵/۶/۲۰۰۵ (۸۴/۴/۴)

نمونه برداری در ساعت ۱۱:۱۰ همزمان با گذر ماهواره صورت گرفته است. در جدول ۴-۴ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به قرار زیر است:

- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۰/۲۹
- ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۲/۶۹
- ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۲۲/۷۷
- ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در خلیج قره باغ خزر جنوبی: ۲۶/۲۱
- ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۳۸ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۱/۸۲
- ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۴ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۵/۰۰
- ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۳/۱۲
- ۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۶ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۴/۸۰
- ۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۳/۵۲
- ۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۶۰ ایستگاه در مرکز خزر جنوبی: ۲۳/۸۴

بیشینه دما مربوط به خلیج قره باغ با مقدار ۲۶/۲۱ است و کمینه ی آن مربوط به شمال

خزر جنوبی با مقدار ۲۰/۲۹ است.

در جدول ۴-۴ می توان به مقایسه ی دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای، طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری دمای سطح و خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

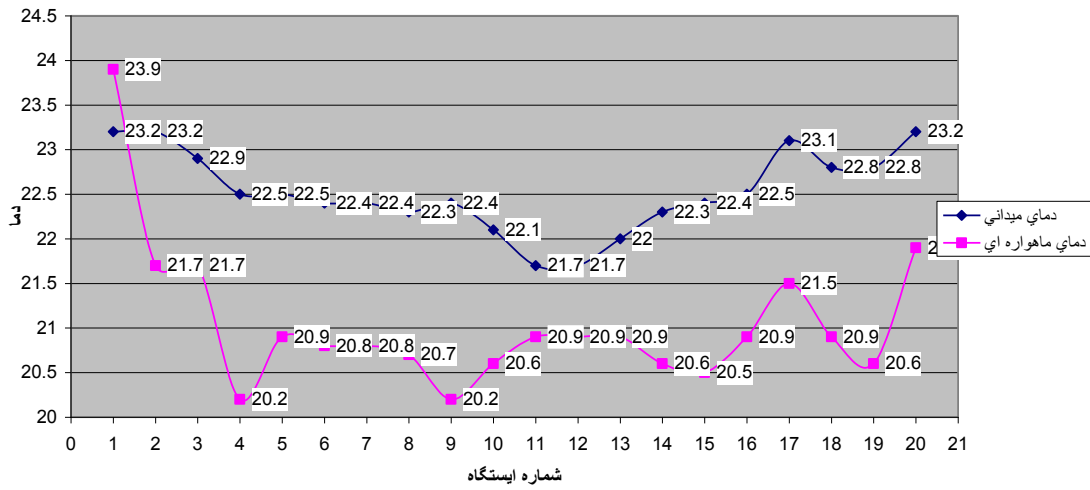
جدول ۴-۴: داده‌های دمای سطحی خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۱ ۱۱ ۵۷	۳۶ ۴۳ ۰۳	۲۳/۲	۲۳/۹	۳/۰۱٪
۲	۵۱ ۱۱ ۵۰	۳۶ ۴۳ ۰۴	۲۳/۲	۲۱/۷	۶/۴۷٪
۳	۵۱ ۱۱ ۵۱	۳۶ ۴۳ ۰۷	۲۲/۹	۲۱/۷	۵/۲۴٪
۴	۵۱ ۱۱ ۴۱	۳۶ ۴۳ ۰۹	۲۲/۵	۲۰/۲	۱۰/۲۲٪
۵	۵۱ ۱۱ ۴۸	۳۶ ۴۳ ۱۱	۲۲/۵	۲۰/۹	۷/۱۱٪
۶	۵۱ ۱۱ ۵۴	۳۶ ۴۳ ۱۲	۲۲/۴	۲۰/۸	۷/۱۴٪
۷	۵۱ ۱۲ ۰۱	۳۶ ۴۳ ۱۳	۲۲/۴	۲۰/۸	۷/۱۴٪
۸	۵۱ ۱۱ ۵۶	۳۶ ۴۳ ۱۸	۲۲/۳	۲۰/۷	۷/۱۷٪
۹	۵۱ ۱۱ ۴۶	۳۶ ۴۳ ۱۶	۲۲/۴	۲۰/۲	۹/۸۲٪
۱۰	۵۱ ۱۱ ۵۰	۳۶ ۴۳ ۲۰	۲۲/۱	۲۰/۶	۶/۷۹٪
۱۱	۵۱ ۱۱ ۵۴	۳۶ ۴۳ ۲۴	۲۱/۷	۲۰/۹	۳/۶۹٪
۱۲	۵۱ ۱۲ ۰۱	۳۶ ۴۳ ۲۳	۲۱/۷	۲۰/۹	۳/۶۹٪
۱۳	۵۱ ۱۲ ۰۹	۳۶ ۴۳ ۲۱	۲۲/۰	۲۰/۹	۵٪
۱۴	۵۱ ۱۲ ۱۴	۳۶ ۴۳ ۱۸	۲۲/۳	۲۰/۶	۷/۶۲٪
۱۵	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۱۶	۲۲/۴	۲۰/۵	۸/۴۸٪
۱۶	۵۱ ۱۲ ۱۸	۳۶ ۴۳ ۱۲	۲۲/۵	۲۰/۹	۷/۱۱٪
۱۷	۵۱ ۱۲ ۱۹	۳۶ ۴۳ ۰۵	۲۳/۱	۲۱/۵	۶/۹۳٪
۱۸	۵۱ ۱۲ ۱۲	۳۶ ۴۳ ۰۸	۲۲/۸	۲۰/۹	۸/۳۳٪
۱۹	۵۱ ۱۲ ۰۴	۳۶ ۴۳ ۰۹	۲۲/۸	۲۰/۶	۹/۶۵٪
۲۰	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۰۴	۲۳/۲	۲۱/۹	۵/۶۰٪

با استفاده از جدول ۴-۴ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و ماهواره‌ای را به

شکل زیر خواهیم داشت:

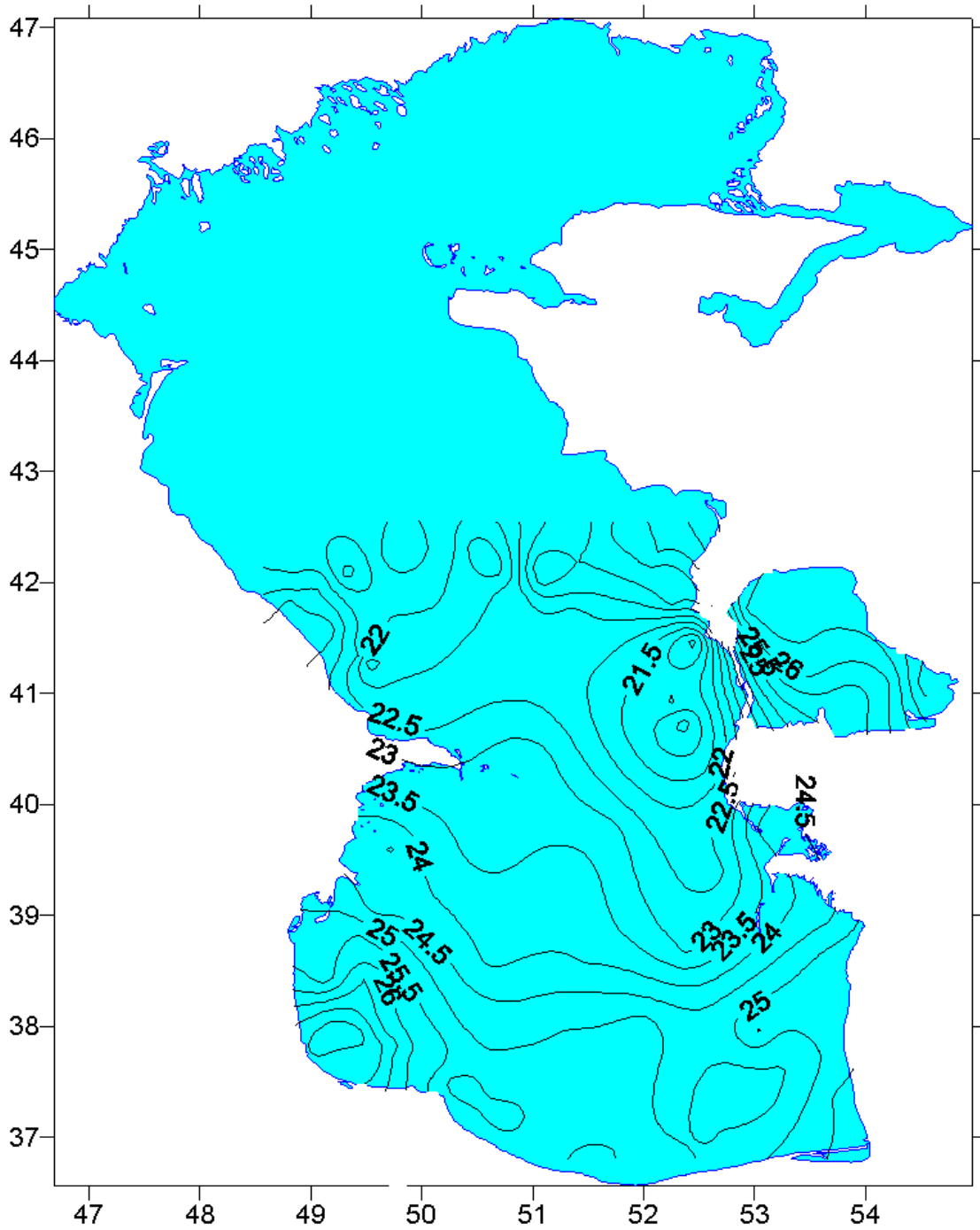
توزیع دما در تاریخ 25.06.2005



شکل ۴-۷: توزیع دمای سطحی خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده است که در شکل ۴-۸ می‌توان

مشاهده کرد:



شکل ۴-۸: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۴-۱-۵ روز ۲۴/۷/۲۰۰۵ (۸۴/۵/۲)

نمونه برداری در ساعت ۱۱ صبح همزمان با گذر ماهواره انجام شده است. در جدول ۴-۵ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است:

- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غربی خزر جنوبی: ۲۸/۸۳
- ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۹/۷۷
- ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرقی خزر جنوبی: ۲۹/۱۲
- ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در مرکز خزر جنوبی: ۲۷/۶۵
- ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۷/۴۸
- ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۸/۲۵
- ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۲۴/۶۷
- ۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۶/۱۷
- ۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۴/۱۵
- ۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۵ ایستگاه در خلیج قره باغ خزر جنوبی: ۲۹/۹۹

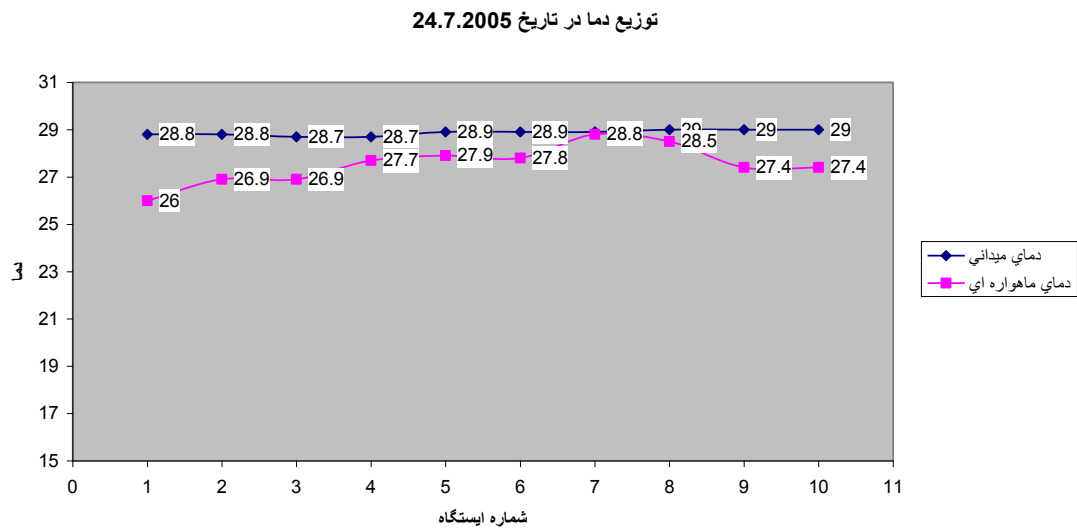
بیشینه دما را در خلیج قره باغ و کمینه ی دما را در شمال خزر جنوبی داریم.

در جدول ۴-۵ می توان به مقایسه ی دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری دمای سطح و خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

جدول ۴-۵: داده های دمای سطح خزر جنوبی

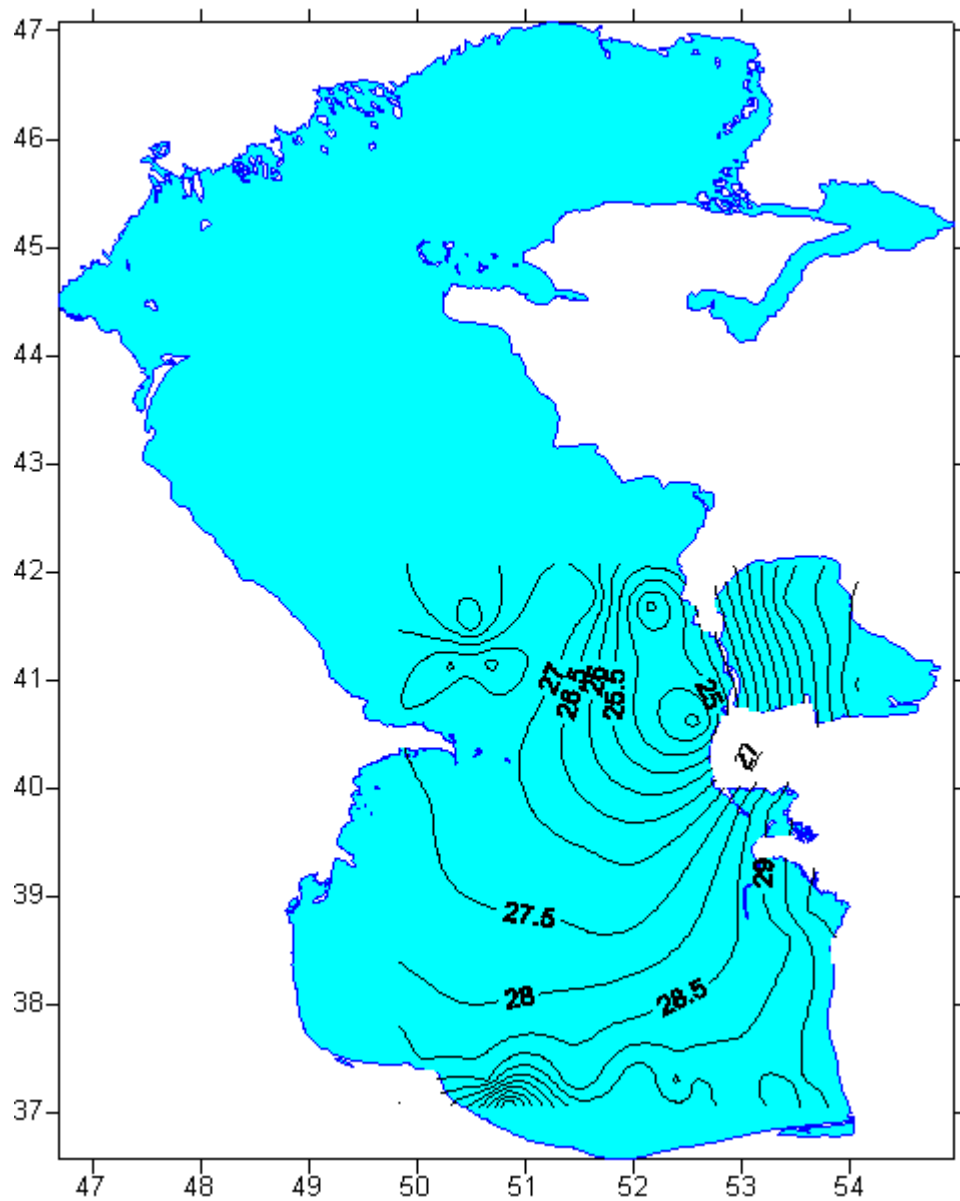
	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه ی سانتی گراد)	دمای ماهواره (درجه ی سانتی گراد)	خطای نسبی
۱	۵۱ ۱۲ ۱۰	۳۶ ۴۲ ۵۰	۲۸/۸	۲۶/۰	۹/۷۲٪
۲	۵۱ ۱۲ ۰۹	۳۶ ۴۲ ۵۳	۲۸/۸	۲۶/۹	۶/۶۰٪
۳	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۰۰	۲۸/۷	۲۶/۹	۶/۲۷٪
۴	۵۱ ۱۲ ۰۹	۳۶ ۴۳ ۰۶	۲۸/۷	۲۷/۷	۳/۴۸٪
۵	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۱۱	۲۸/۹	۲۷/۹	۳/۴۶٪
۶	۵۱ ۱۲ ۰۷	۳۶ ۴۳ ۱۷	۲۸/۹	۲۷/۸	۳/۸۰٪
۷	۵۱ ۱۲ ۰۸	۳۶ ۴۳ ۲۰	۲۸/۹	۲۸/۸	۰/۳۵٪
۸	۵۱ ۱۲ ۰۵	۳۶ ۴۳ ۲۵	۲۹/۰	۲۸/۵	۱/۷۲٪
۹	۵۱ ۱۲ ۰۳	۳۶ ۴۳ ۳۲	۲۹/۰	۲۷/۴	۵/۵۲٪
۱۰	۵۱ ۱۲ ۰۳	۳۶ ۴۳ ۳۵	۲۹/۰	۲۷/۴	۵/۵۲٪

با استفاده از جدول ۴-۵ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و ماهواره‌ای را در شکل ۴-۹ داریم.



شکل ۴-۹: توزیع دمای سطح خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده است که در شکل ۴-۱۰ می‌بینیم.



شکل ۴-۱۰: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۴-۱-۶ روز ۲۵/۷/۲۰۰۵ (۸۴/۵/۳)

نمونه برداری در ساعت ۱۱ همزمان با گذر ماهواره انجام شده است. در جدول ۴-۶ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است:

- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۵ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۹/۷۰
- ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۳۴ ایستگاه در مرکز خزر جنوبی: ۲۷/۵۷
- ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در خلیج قره بغاز خزر جنوبی: ۲۹/۷۷
- ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۴/۰۸
- ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۰ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۶/۷۱
- ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۲۵/۵۴
- ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۷/۸۸
- ۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۸/۴۶
- ۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۹/۱۵
- ۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۷/۱۹

بیشینه دما را در خلیج قره بغاز و کمینه دما را در شمال خزر جنوبی داریم.

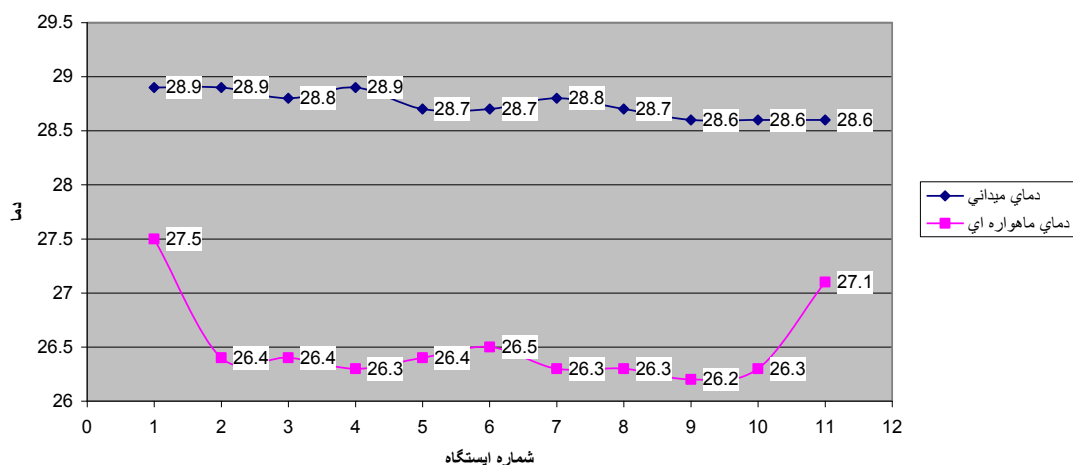
در جدول ۴-۶ می توان به مقایسه ی دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای پرداخت و بعلاوه اطلاعاتی راجع به طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری و همچنین خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

جدول ۴-۶: داده‌های دمای سطح خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۱ ۱۲ ۳۰	۳۶ ۴۳ ۴۱	۲۸/۹	۲۷/۵	۴/۸۴٪
۲	۵۱ ۱۲ ۲۹	۳۶ ۴۳ ۴۵	۲۸/۹	۲۶/۴	۸/۶۵٪
۳	۵۱ ۱۲ ۲۶	۳۶ ۴۳ ۴۷	۲۸/۸	۲۶/۴	۸/۳۳٪
۴	۵۱ ۱۲ ۲۵	۳۶ ۴۳ ۵۳	۲۸/۹	۲۶/۳	۹/۰٪
۵	۵۱ ۱۲ ۳۰	۳۶ ۴۳ ۵۴	۲۸/۷	۲۶/۴	۸/۰۱٪
۶	۵۱ ۱۲ ۳۲	۳۶ ۴۳ ۵۸	۲۸/۷	۲۶/۵	۷/۶۷٪
۷	۵۱ ۱۲ ۳۸	۳۶ ۴۴ ۰۱	۲۸/۸	۲۶/۳	۸/۶۸٪
۸	۵۱ ۱۲ ۲۷	۳۶ ۴۴ ۰۳	۲۸/۷	۲۶/۳	۸/۳۶٪
۹	۵۱ ۱۲ ۳۳	۳۶ ۴۴ ۰۸	۲۸/۶	۲۶/۲	۸/۳۹٪
۱۰	۵۱ ۱۲ ۳۴	۳۶ ۴۴ ۱۳	۲۸/۶	۲۶/۳	۸/۰۴٪
۱۱	۵۱ ۱۲ ۳۰	۳۶ ۴۴ ۱۴	۲۸/۵	۲۷/۱	۴/۹۱٪

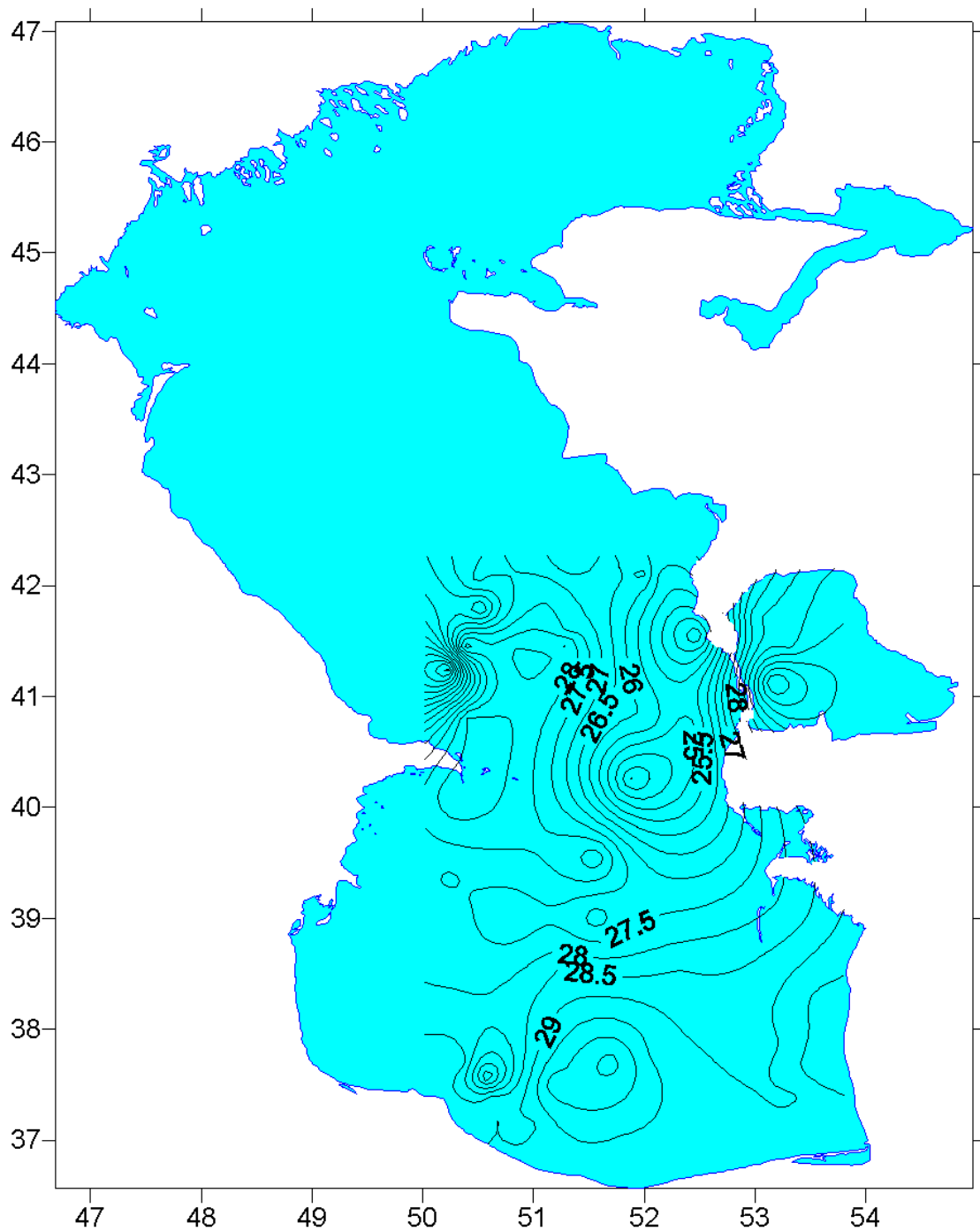
با استفاده از جدول ۴-۶ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای را در شکل ۴-۱۱ داریم:

توزیع دما در تاریخ 25.7.2005



شکل ۴-۱۱: توزیع دمای سطح خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده است که در شکل ۴-۱۲ می‌بینیم:



شکل ۴-۱۲: خطوط هم دمای خزر جنوبی

نمونه برداری در ساعت ۱۱ همزمان با گذر ماهواره انجام شده است. در جدول ۴-۷ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است.

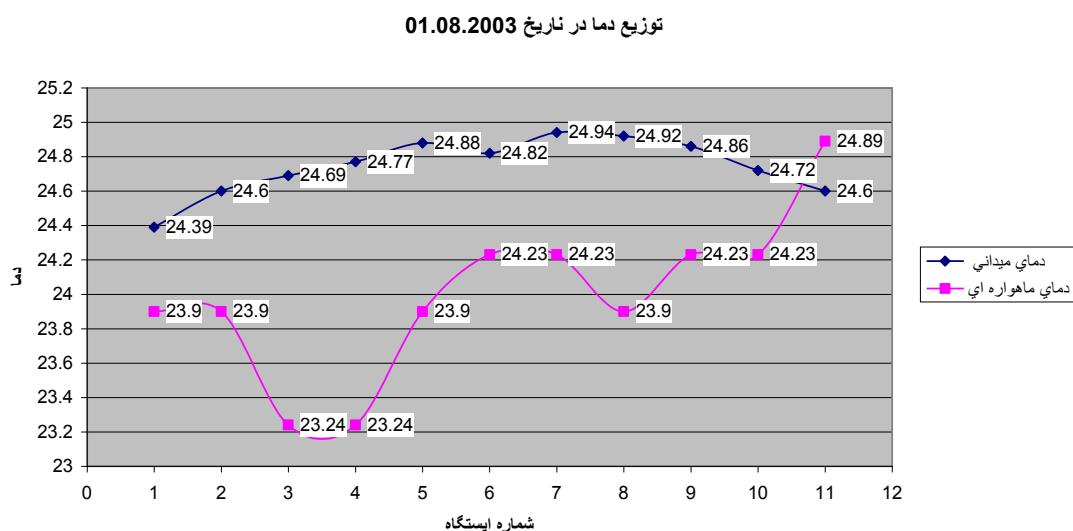
- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در خلیج قره بغاز خزر جنوبی: ۲۵/۹۵
 - ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۴/۹۲
 - ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۴/۸۲
 - ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۴/۲۶
 - ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۵ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۵/۶۲
 - ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۴/۳۹
 - ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۵ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۲۳/۳۳
 - ۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۷ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۵/۰۵
 - ۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۶/۰۰
 - ۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۴ ایستگاه در مرکزی جنوب خزر جنوبی: ۲۴/۷۷
 - ۱۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در مرکزی شمال خزر جنوبی: ۲۴/۱۰
- بیشینه دما رادر جنوب شرق و کمینه دما را در شمال شرق خزر جنوبی داریم.

در جدول ۴-۷ می توان به مقایسه ی دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای پرداخت و بعلاوه اطلاعاتی راجع به طول و عرض جغرافیایی ایستگاه های اندازه گیری و همچنین خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

جدول ۴-۷: داده‌های دمای سطح خزر جنوبی

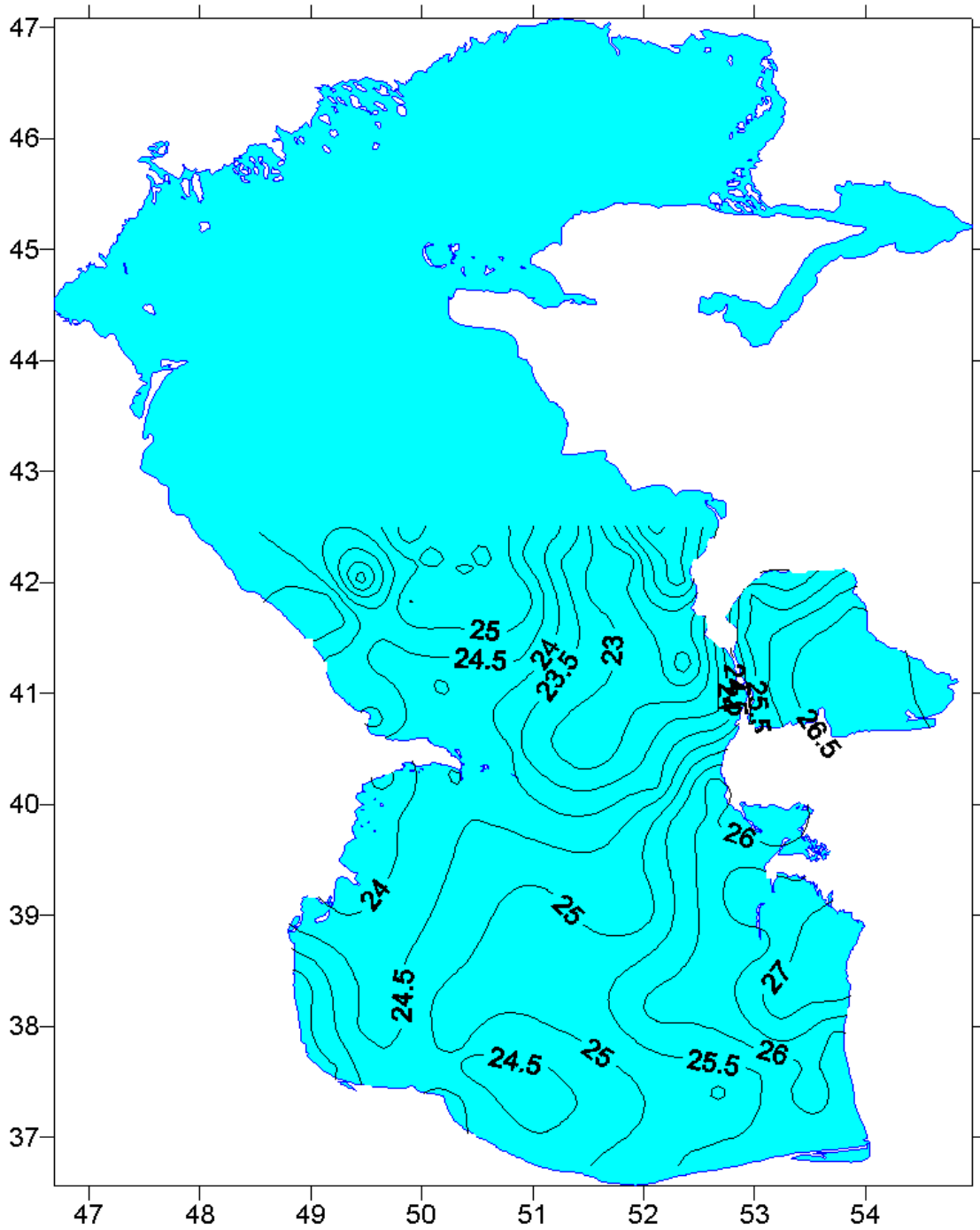
خطای نسبی	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)
۲/۰۱٪	۲۳/۹۰	۲۴/۳۹	۳۶ ۴۲ ۱۰/۸۰	۵۲ ۳۳ ۳۲/۷
۲/۸۵٪	۲۳/۹۰	۲۴/۶۰	۳۶ ۴۲ ۴۱/۰۰	۵۲ ۳۳ ۲۳/۸۰
۵/۸۷٪	۲۳/۲۴	۲۴/۶۹	۳۶ ۴۳ ۱۲/۷۰	۵۲ ۳۳ ۱۶/۶۰
۶/۱۷٪	۲۳/۲۴	۲۴/۷۷	۳۶ ۴۳ ۴۴/۴۰	۵۲ ۳۳ ۰۰/۴۰
۳/۹۳٪	۲۳/۹۰	۲۴/۸۸	۳۶ ۴۴ ۲۰/۶۰	۵۲ ۳۲ ۴۶/۰۰
۲/۳۸٪	۲۴/۲۳	۲۴/۸۲	۳۶ ۴۴ ۵۰/۷۰	۵۲ ۳۲ ۳۳/۹۰
۲/۸۴٪	۲۴/۲۳	۲۴/۹۴	۳۶ ۴۵ ۱۹/۸۰	۵۲ ۳۲ ۲۱/۸۰
۴/۰۹٪	۲۳/۹۰	۲۴/۹۲	۳۶ ۴۵ ۵۴/۷۰	۵۲ ۳۲ ۰۹/۷۰
۲/۵۳٪	۲۴/۲۳	۲۴/۸۶	۳۶ ۴۶ ۲۷/۱۰	۵۲ ۳۱ ۵۶/۲۸
۱/۹۸٪	۲۴/۲۳	۲۴/۷۲	۳۶ ۴۶ ۵۹/۵۲	۵۲ ۳۱ ۴۰/۶۰
۱/۱۸٪	۲۴/۸۹	۲۴/۶۰	۳۶ ۴۷ ۳۷/۶۰	۵۲ ۳۱ ۲۳/۶۰

با استفاده از جدول ۴-۷ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای را در شکل ۴-۱۳ داریم:



شکل ۴-۱۳: توزیع دمای سطح خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم‌دما رسم شده است که در شکل ۴-۱۴ می‌بینیم:



شکل ۴-۱۴: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۴-۱-۸ روز ۲۰۰۳/۸/۳ (۸۲/۵/۱۲)

نمونه برداری در ساعت ۱۴ همزمان با گذر ماهواره انجام شده است. در جدول ۴-۸ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است.

۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۴/۱۱

۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۴/۵۶

۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۶/۲۲

۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۳/۷۷

۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۶ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۳/۲۷

۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۲ ایستگاه در مرکزی جنوب خزر جنوبی: ۲۴/۲۸

۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در مرکزی شمال خزر جنوبی: ۲۳/۲۳

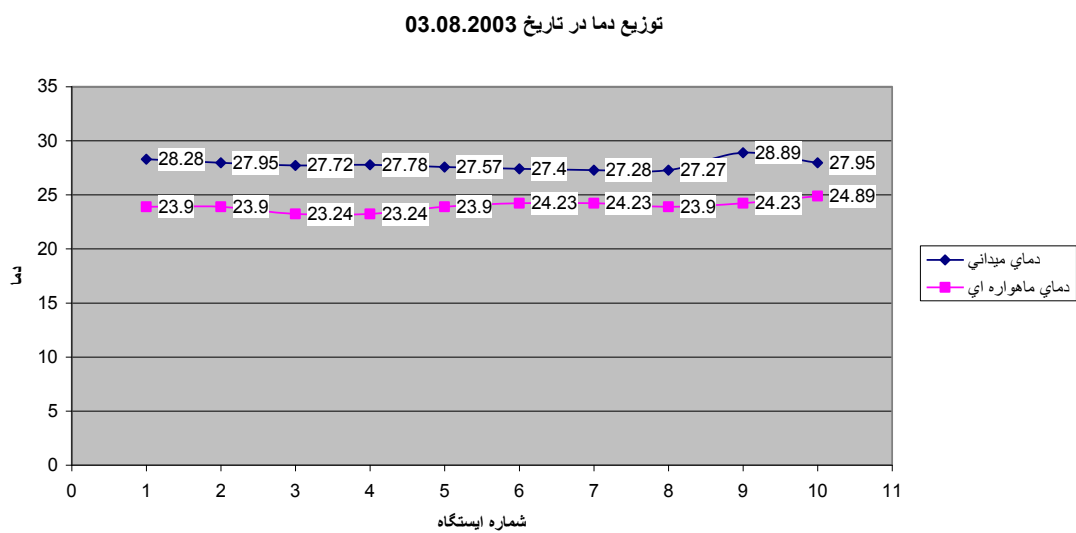
نیمه ی شمالی خزر جنوبی بنابراین دمای سطحی میانگین قابل استخراج نبود.

بیشینه دما را در جنوب شرقی خزر جنوبی و کمینه دما را در مرکزی شمال خزر جنوبی داریم. در جدول ۴-۸ می توان به مقایسه ی دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای پرداخت و به علاوه اطلاعاتی راجع به به طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری و همچنین خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

جدول ۴-۸: داده های دمای سطح خزر جنوبی

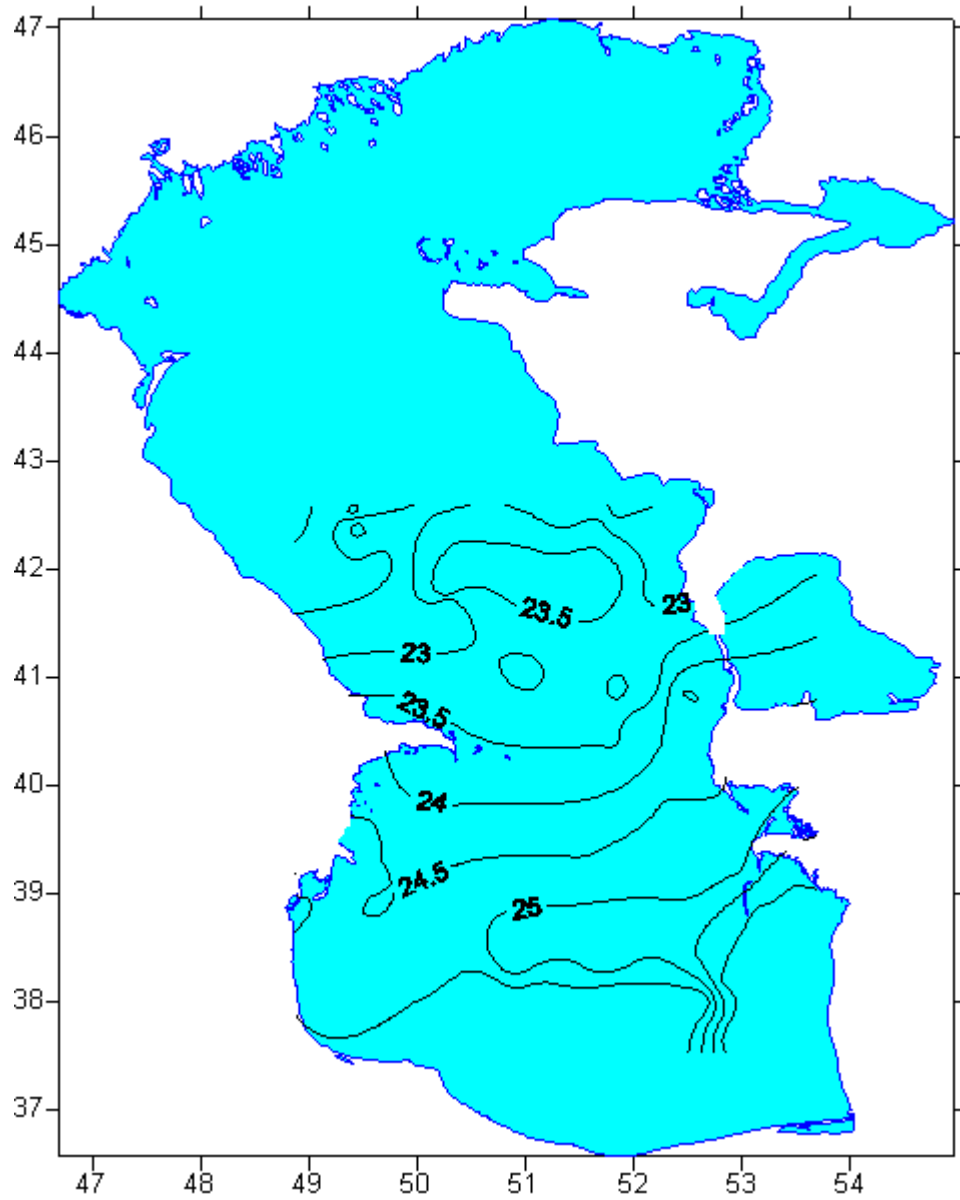
خطای نسبی	دمای ماهواره (درجه ی سانتی گراد)	دمای میدانی آب (درجه ی سانتی گراد)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)
۱۵/۴۸٪	۲۳/۹۰	۲۸/۲۸	۳۶ ۴۲ ۱۱/۹	۵۲ ۳۳ ۳۲/۴
۱۴/۴۹٪	۲۳/۹۰	۲۷/۹۵	۳۶ ۴۲ ۳۹/۶	۵۲ ۳۳ ۲۱/۶
۱۶/۱۶٪	۲۳/۲۴	۲۷/۷۲	۳۶ ۴۳ ۱۲/۷	۵۲ ۳۳ ۱۶/۶
۱۶/۳۴٪	۲۳/۲۴	۲۷/۷۸	۳۶ ۴۳ ۴۴/۴۰	۵۲ ۳۳ ۰۰/۳۶
۱۳/۳۱٪	۲۳/۹	۲۷/۵۷	۳۶ ۴۴ ۲۰/۴۰	۵۲ ۳۲ ۴۶/۰۰
۱۱/۵۷٪	۲۴/۲۳	۲۷/۴۰	۳۶ ۴۴ ۵۰/۶۸	۵۲ ۳۲ ۳۳/۹۰
۱۱/۱۸٪	۲۴/۲۳	۲۷/۲۸	۳۶ ۴۵ ۱۹/۸۰	۵۲ ۳۱ ۵۳/۰۰
۱۲/۳۶٪	۲۳/۹	۲۷/۲۷	۳۶ ۴۵ ۵۴/۷۰	۵۲ ۳۲ ۰۹/۷۰
۹/۸۹٪	۲۴/۲۳	۲۶/۸۹	۳۶ ۴۶ ۵۹/۷۰	۵۲ ۳۱ ۴۰/۶۰
۱۰/۹۵٪	۲۴/۸۹	۲۷/۹۵	۳۶ ۴۷ ۳۷/۶۰	۵۲ ۳۱ ۲۳/۶۰

با استفاده از جدول ۴-۸ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای را در شکل ۴-۱۵ داریم:



شکل ۴-۱۵: توزیع دمای سطح خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم دما رسم شده در شکل ۴-۱۶ می بینیم:



شکل ۴-۱۶: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۹-۱-۴ روز ۲۰۰۳/۸/۵ (۸۲/۵/۱۴)

نمونه برداری در ساعت ۱۱:۴۰ همزمان با گذر ماهواره انجام شده است. در جدول ۴-۹ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به صورت زیر است:

- ۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در خلیج قره بغاز خزر جنوبی: ۲۸/۴۸
- ۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۷/۳۰
- ۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۶ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۸/۰۲
- ۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۵/۳۴
- ۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۶/۵۰
- ۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۴ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۷/۴۶
- ۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۷ ایستگاه در مرکزی جنوب خزر جنوبی: ۲۶/۷۳

در نیمه ی شمالی خزر جنوبی به علت ابری بودن، دمای سطح از روی تصاویر ماهواره ای قابل استخراج نبود.

پیشینه ی دما را در خلیج قره بغاز و کمینه ی را در جنوب غرب خزر جنوبی داریم. در جدول ۴-۹ می توانیم دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای را مقایسه کنیم و بعلاوه اطلاعاتی راجع به طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری و همچنین خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

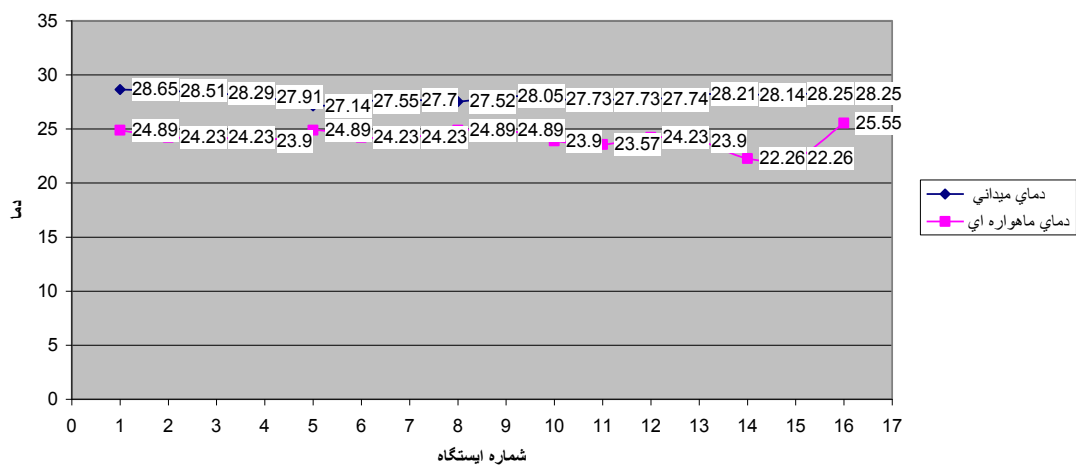
جدول ۴-۹: داده‌های دمای سطح خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۲ ۴۱ ۰۰/۴۰	۳۶ ۴۳ ۲۳/۲۰	۲۸/۶۵	۲۴/۸۹	۱۳/۱۲٪
۲	۵۲ ۴۰ ۳۴/۲۰	۳۶ ۴۴ ۲۷/۹۰	۲۸/۵۱	۲۴/۲۳	۱۵/۰۱٪
۳	۵۲ ۴۰ ۰۵/۹۰	۳۶ ۴۵ ۲۹/۳۰	۲۸/۲۹	۲۴/۲۳	۱۴/۳۵٪
۴	۵۲ ۳۹ ۵۳/۸۰	۳۶ ۴۶ ۳۷/۳۰	۲۷/۹۱	۲۳/۹	۱۴/۳۶٪
۵	۵۲ ۳۹ ۲۸/۱۰	۳۶ ۴۷ ۴۱/۹۰	۲۷/۱۴	۲۴/۸۹	۸/۲۹٪
۶	۵۲ ۳۹ ۰۳/۳۰	۳۶ ۵۱ ۰۰/۵۰	۲۷/۵۵	۲۴/۲۳	۱۲/۰۵٪
۷	۵۲ ۳۶ ۲۱/۷۸	۳۶ ۴۸ ۵۶/۱۶	۲۷/۷۰	۲۴/۲۳	۱۲/۵۳٪
۸	۵۲ ۳۳ ۰۵/۴۷	۳۶ ۴۸ ۳۰/۹۰	۲۷/۵۲	۲۴/۸۹	۹/۵۶٪
۹	۵۲ ۲۹ ۵۱/۵۰	۳۶ ۴۷ ۵۲/۰۸	۲۸/۰۵	۲۴/۸۹	۱۱/۲۷٪
۱۰	۵۲ ۲۶ ۲۶/۲۰	۳۶ ۴۷ ۱۵/۷۰	۲۷/۷۳	۲۳/۹۰	۱۳/۸۱٪
۱۱	۵۲ ۲۳ ۳۴/۵	۳۶ ۴۶ ۳۵/۶۰	۲۷/۷۳	۲۳/۵۷	۱۵/۰۰٪
۱۲	۵۲ ۲۳ ۵۴/۷۰	۳۶ ۴۵ ۱۳/۲۰	۲۷/۷۴	۲۴/۲۳	۱۲/۶۵٪
۱۳	۵۲ ۲۴ ۶۰/۸۰	۳۶ ۴۴ ۰۰/۴۰	۲۸/۲۱	۲۳/۹	۱۵/۲۸٪
۱۴	۵۲ ۲۴ ۲۷/۰۰	۳۶ ۴۲ ۴۶/۰۰	۲۸/۱۴	۲۲/۲۶	۲۰/۸۹٪
۱۵	۵۲ ۲۴ ۴۹/۲۰	۳۶ ۴۱ ۴۱/۳۰	۲۸/۲۵	۲۲/۲۶	۲۱/۲۰٪
۱۶	۵۲ ۲۵ ۹۰/۸	۳۶ ۴۰ ۳۷/۵	۲۸/۲۵	۲۵/۵۵	۹/۵۵٪

با استفاده از جدول ۴-۹ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای

را در شکل ۴-۱۷ داریم:

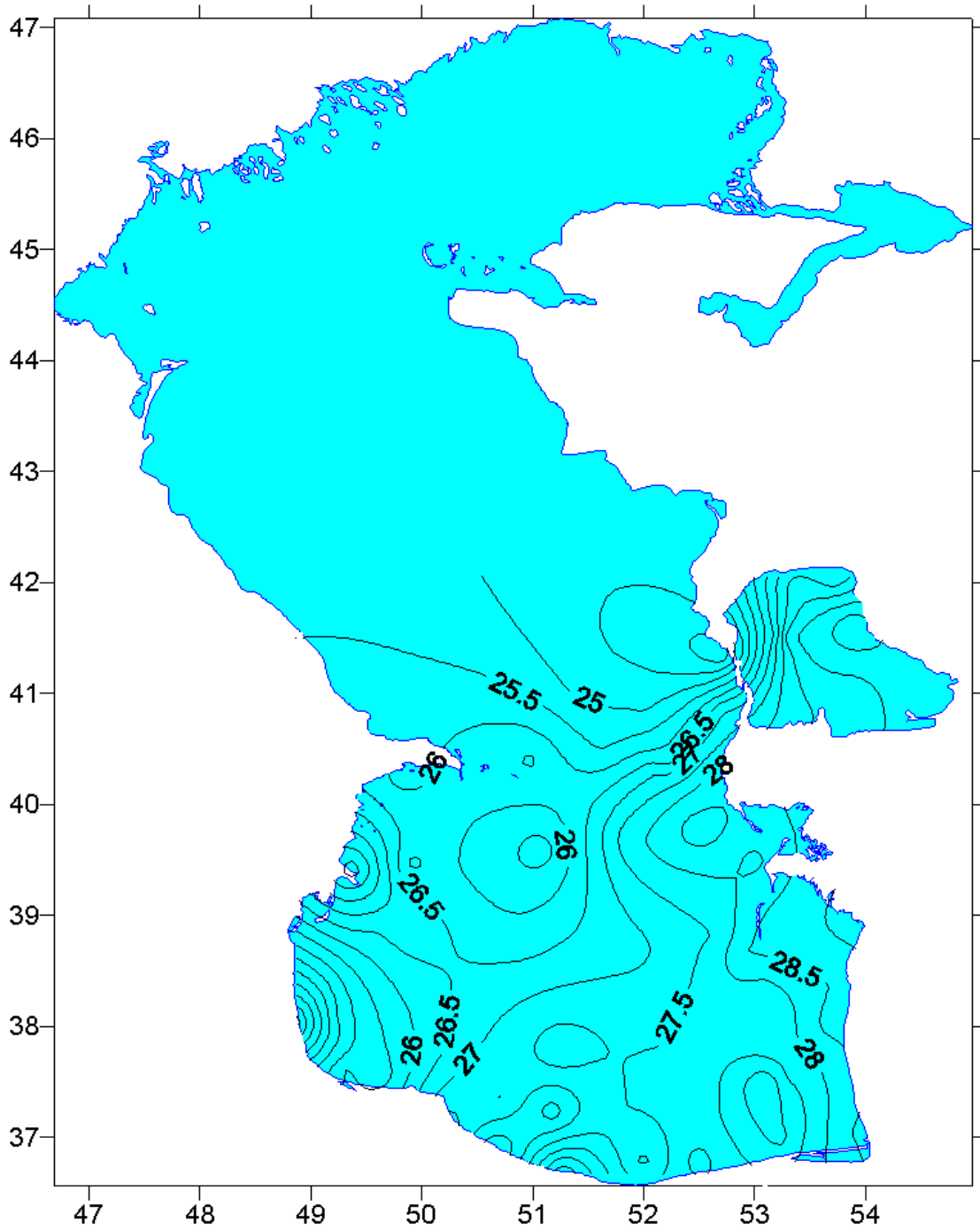
توزیع دما در تاریخ 05.08.2003



شکل ۴-۱۷: توزیع دمای سطح خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم‌دما در خزر جنوبی رسم شده که در شکل ۴-۱۸

می‌بینیم:



شکل ۴-۱۸: خطوط هم دمای خزر جنوبی

۱۰-۱-۴ روز ۲۹/۹/۲۰۰۳ (۸۲/۷/۷)

نمونه برداری در ساعت ۱۱ همزمان با گذر ماهواره صورت گرفته است. در جدول ۴-۱۰ می توان داده های مربوط به عملیات میدانی را مشاهده کرد. دمای میانگین سطحی حاصل از داده های ماهواره ای (بر حسب درجه سانتی گراد) در خزر جنوبی به شکل زیر است:

۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۳/۵۷

۲) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غربی خزر جنوبی: ۲۳/۱۴

۳) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۳/۹۰

۴) دمای میانگین سطح حاصل از ۷ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۱/۱۸

۵) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در خلیج قره باغ خزر جنوبی: ۱۸/۶۰

۶) دمای میانگین سطح حاصل از ۶ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۱۸/۱۴

۷) دمای میانگین سطح حاصل از ۵ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۰/۴۱

۸) دمای میانگین سطح حاصل از ۸ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۱/۰۶

۹) دمای میانگین سطح حاصل از ۲۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۲/۴۴

۱۰) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۳ ایستگاه در مرکزی جنوبی خزر جنوبی: ۲۳/۰۹

۱۱) دمای میانگین سطح حاصل از ۱۰ ایستگاه در مرکزی شمال خزر جنوبی: ۲۱/۴۰

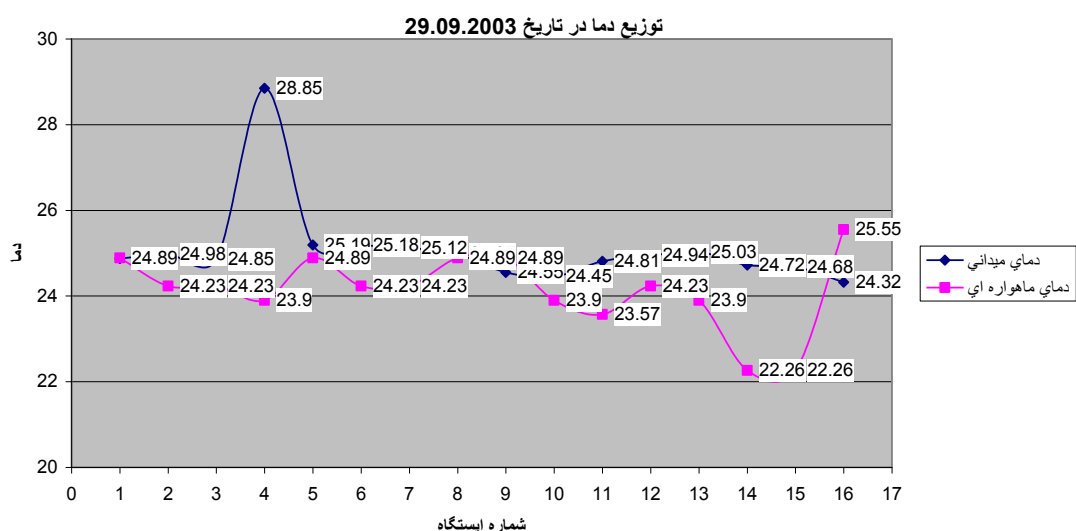
بیشینه ی دما را در جنوب شرق و کمینه ی دما را در شمال شرقی خزر جنوبی داریم.

در جدول ۴-۱۰ می توانیم دمای میانگین سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای را مقایسه کنیم و بعلاوه اطلاعاتی راجع به طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای اندازه گیری و همچنین خطای نسبی حاصل از مقایسه ی داده های ماهواره ای و میدانی را مشاهده کرد.

جدول ۴-۱۰: داده‌های دمای سطح خزر جنوبی

	طول جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	عرض جغرافیایی (ثانیه، دقیقه، درجه)	دمای میدانی آب (درجه‌ی سانتی‌گراد)	دمای ماهواره (درجه‌ی سانتی‌گراد)	خطای نسبی
۱	۵۲ ۴۱ ۰۰/۴۰	۳۶ ۴۳ ۲۳/۲۰	۲۴/۸۷	۲۴/۸۹	۰/۰۸٪
۲	۵۲ ۴۰ ۳۴/۲۰	۳۶ ۴۴ ۲۷/۹	۲۴/۹۸	۲۴/۲۳	۳/۰۰٪
۳	۵۲ ۴۰ ۰۵/۸۸	۳۶ ۴۵ ۲۹/۳۰	۲۴/۸۵	۲۴/۲۳	۲/۴۹٪
۴	۵۲ ۳۹ ۵۳/۸۰	۳۶ ۴۶ ۳۷/۲۰	۲۸/۸۵	۲۳/۹۰	۱۷/۱۵٪
۵	۵۲ ۳۹ ۲۸/۱۰	۳۶ ۴۷ ۴۱/۹۰	۲۵/۱۹	۲۴/۸۹	۱/۱۹٪
۶	۵۲ ۳۹ ۰۳/۳۰	۳۶ ۴۹ ۱۲/۴۷	۲۵/۱۸	۲۴/۲۳	۳/۷۷٪
۷	۵۲ ۳۶ ۲۱/۸	۳۶ ۴۸ ۵۶/۳۰	۲۵/۱۲	۲۴/۲۳	۳/۵۴٪
۸	۵۲ ۳۳ ۰۵/۵۰	۳۶ ۴۸ ۳۰/۷۲	۲۴/۹۷	۲۴/۸۹	۰/۳۲٪
۹	۵۲ ۲۹ ۵۱/۵۰	۳۶ ۴۷ ۵۲/۰۸	۲۴/۵۵	۲۴/۸۹	۱/۳۸٪
۱۰	۵۲ ۲۶ ۲۶/۲	۳۶ ۴۷ ۱۵/۷۰	۲۴/۴۵	۲۳/۹۰	۲/۲۴٪
۱۱	۵۲ ۲۳ ۳۴/۵۰	۳۶ ۴۶ ۳۵/۶۰	۲۴/۸۱	۲۳/۵۷	۴/۹۹٪
۱۲	۵۲ ۲۳ ۵۴/۷۰	۳۶ ۴۵ ۱۳/۲۰	۲۴/۹۴	۲۴/۲۳	۲/۸۴٪
۱۳	۵۲ ۲۴ ۰۶/۸۰	۳۶ ۴۴ ۰۰/۴۰	۲۵/۰۳	۲۳/۹	۴/۵۱٪
۱۴	۵۲ ۲۴ ۲۷/۰۰	۳۶ ۴۲ ۴۶/۰۰	۲۴/۷۲	۲۲/۲۶	۹/۹۵٪
۱۵	۵۲ ۲۴ ۴۹/۱۸	۳۶ ۴۱ ۴۱/۳۰	۲۴/۶۸	۲۲/۲۶	۹/۸۰٪
۱۶	۵۲ ۲۵ ۱۱/۶۰	۳۶ ۴۰ ۳۷/۴۹	۲۴/۳۲	۲۵/۵۵	۵/۰۶٪

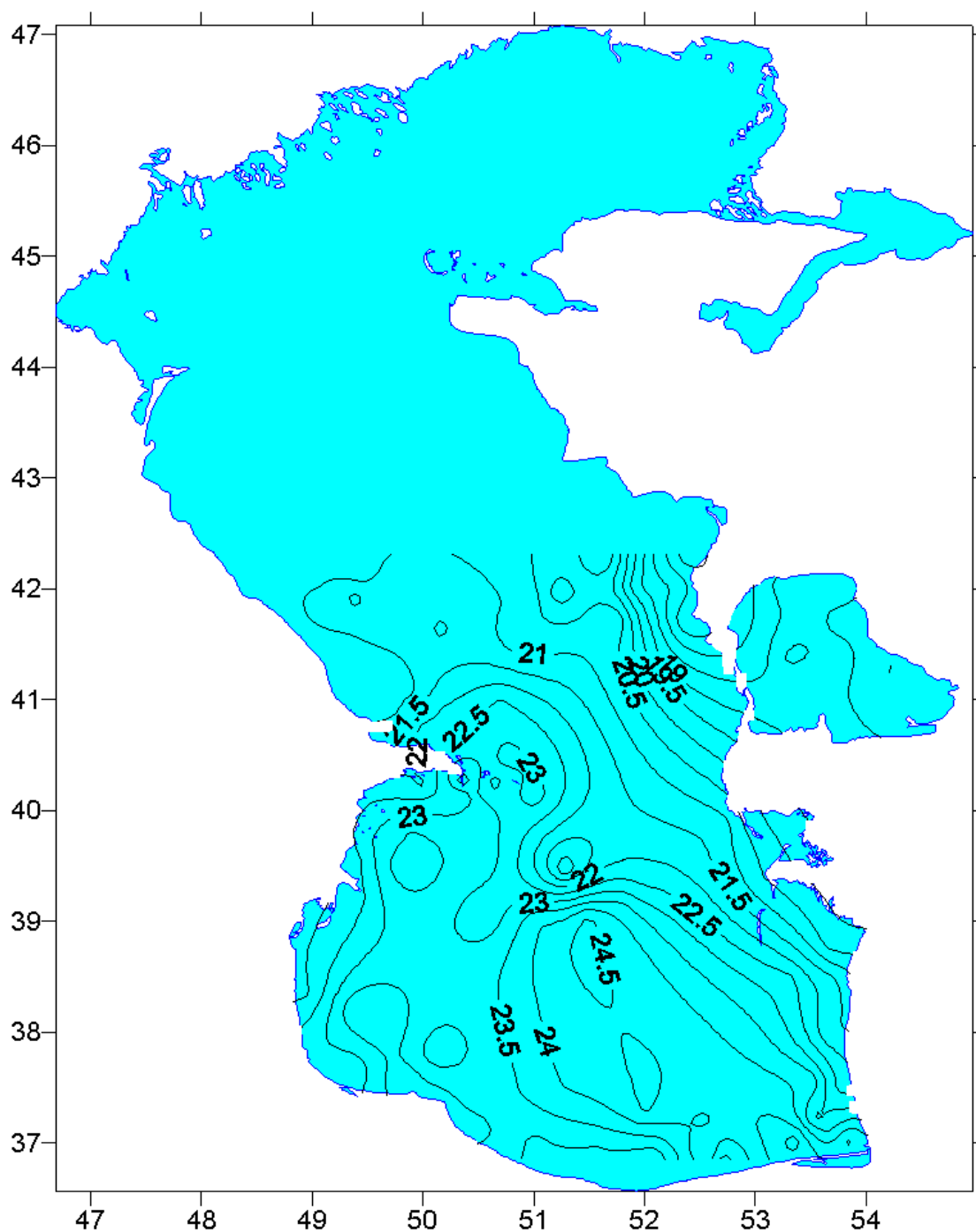
با استفاده از جدول ۴-۱۰ داده‌های دمای سطح حاصل از عملیات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای را در شکل ۴-۱۹ می‌توان دید.



شکل ۴-۱۹: توزیع دمای سطحی خزر جنوبی

با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای خطوط هم‌دما در خزر جنوبی رسم شده است که در شکل

۴-۲۰ مشخص است:



شکل ۲۰: خطوط هم‌دمای خزر جنوبی

۴-۲ دلایل اختلاف بین دمای حاصل از ماهواره و دمای میدانی

در خصوص اختلاف بین دمای حاصل از ماهواره و دمای میدانی این نکته باید مطرح شود که اختلاف بین دو دما می‌تواند به دلیل عوامل زیر باشد:

۱. یکی از اندازه‌گیریها و یا هر دو آنها می‌توانند خطا داشته باشند.
 ۲. اندازه‌گیریها توسط ماهواره دمای سطحی را نشان می‌دهند در حالیکه اندازه‌گیریهایی که توسط کشتی انجام می‌شوند، معمولاً مربوط به دمای زیرسطحی نیز هستند. درست است که نباید اختلاف شدیدی بین این دو نوع اندازه‌گیری باشد، ولی با این حال، اختلافات بارزی ممکن است به خاطر سرعت باد و شرایط سطحی رخ دهد.
 ۳. دماهای اندازه‌گیری شده توسط ماهواره یک منطقه را دربرمی‌گیرد در حالیکه داده‌های حاصل از کشتی یک مقدار نقطه‌ای است (مربوط به یک نقطه می‌شود) و همین مورد می‌تواند اختلافات زیادی را بخصوص در مناطقی که گرادیان دما داریم، ایجاد کند.
- در نهایت اینکه در تمامی موارد مانند روشهایی که برای تهیه گزارش مشاهدات دما استفاده می‌شوند، خطاهای مشاهداتی، خطای دماسنج، اختلاف بین دمای آب دریا در سطح نمونه‌برداری و سطح آب همگی می‌توانند خطا ایجاد کنند.

۴-۳ محاسبه‌ی دمای سطح آب، الگوریتم پیشنهادی و فرمول جهانی SST و

رابطه‌ی بین دمای ماهواره و دمای میدانی

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بخصوص تصاویر تهیه شده توسط سنجنده‌ی AVHRR تحقیقات و کارهای کاربردی فراوانی صورت گرفته است.

این مطالعات با استفاده از تصاویر نوع پوشش جهانی برای مقیاس جهانی و تصاویر پوشش محلی برای مناطق مختلف انجام پذیرفته است. دمای روشنایی در باندهای ۴ و ۵ با استفاده از نرم‌افزار STARS محاسبه شدند.

در این تحقیق به منظور افزایش دقت نقشه‌های حرارتی مربوط به سطح دریاچه‌ی خزر که با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی AVHRR از ماهواره‌ی NOAA تهیه شدند، ابتدا اندازه‌گیریهای سطح آب به طور مستقیم و به طور همزمان با عبور ماهواره صورت گرفته و سپس با تجزیه و تحلیل آماری آنها، ضرایب و فرمول جهانی محاسبه SST و رابطه‌ی بین داده‌های ماهواره‌ای و دمای میدانی در مقیاس محلی تعیین شدند. این اندازه‌گیریها باید در روزهای غیرابری در مناطق مورد نظر صورت گیرد بدین منظور لیستی از تاریخها و ساعات عبور ماهواره‌ی NOAA برای

دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در تحقیق تهیه شده و سپس در روزهای آفتابی دمای سطحی تعدادی نقطه با طول و عرض جغرافیایی معین از سطح دریا نمونه‌برداری شدند. در این تحقیق از متداولترین روش محاسبه‌ی SST یعنی Split window استفاده کرده و ضرایب معادله‌ی جهانی مربوطه را برای منطقه‌ی خزر کالیبره نمودیم. فرمول جهانی SST برای روش مذکور و رابطه‌ی بین دمای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های میدانی به شکل زیر است:

$$\text{رابطه‌ی (۱-۴)} \quad \text{SST} = A + B * T_{b4} + C * (T_{b4} + T_{b5}) + D * (T_{b4} - T_{b5}) * (\text{Sec}(O) - 1)$$

که T_{b4} و T_{b5} به ترتیب مقادیر حرارتی استخراجی از باندهای ۴ و ۵ و O زاویه‌ی زنیط ماهواره و ضرایب A ، B ، C و D برابرند با:

$$\begin{aligned} A &= -273.77 \\ B &= 0.999317 \\ C &= 2.30195 \\ D &= 0.628966 \end{aligned}$$

این ضرایب پس از کالیبراسیون به صورت زیر محاسبه شدند:

$$\begin{aligned} A &= -271.206 \\ B &= 0.992818 \\ C &= 2.49916 \\ D &= 0.915103 \end{aligned}$$

بعد از اینکه دمای روشنایی تصاویر برای هر دو باند ۴ و ۵ در تمام نقاط محاسبه شد با توجه به مختصات ایستگاههای اندازه‌گیری دریایی مقادیر دمای روشنایی باندهای ۴ و ۵ برای نقاط متناظر با ایستگاههای دریایی از تصویر استخراج شدند. دمای انتخاب شده از ایستگاه دریایی طوری اندازه‌گیری شد که همزمان و در ساعت تصویربرداری ماهواره NOAA باشد.

۴-۴ نتیجه‌گیری

۱. با توجه به مطلب ۳-۳-۶ که گفته شده خطای کمتر از ۴۰ درصد پذیرفتنی است، با مراجعه به جدولهای ۴-۱ تا ۴-۱۰ ملاحظه می شود کارهای تحقیقاتی محقق دارای حداکثر خطای نسبی ۲۱/۲۰ درصد است در نتیجه این تحقیق کارایی اجرایی دارد و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه‌ی دمای سطحی از دقت مناسبی برخوردار است.

۲. با توجه به اینکه کوگان و ویلاندو (۱۹۷۶) دریافتند که داده‌های ماهواره‌ای همواره کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی کشتیها و دیگر روشهاست، با مراجعه به جدولهای ۴-۱

- تا ۴-۱۰ می بینیم که به غیر از چند مورد خطا، در تمام ایستگاهها مقدار اندازه گیری شده به وسیله ی ماهواره همواره کمتر از داده های میدانی است.
۳. به منظور کالیبراسیون تصاویر ماهواره ای داده های میدانی لازم به نظر می رسد.
۴. با استفاده از رابطه ی بین دمای میدانی و دمای حاصل از تصاویر ماهواره ای (رابطه ی ۴-۱) به راحتی می توان با دانستن دمای ماهواره ای که اغلب مقداری مشخص دارد و به سادگی در دسترس است، دمای میدانی را در هر نقطه از دریاچه ی خزر بدست آورد، این رابطه بیان می کند که ارتباط بین این دو داده خطی است.
۵. تابش خورشیدی باعث گرم شدن ناهمگن شاره های نظیر جو و اقیانوس و ایجاد اختلاف دمای افقی و در نهایت منجر به گردش می شود. در این شاره ها گرانش سعی در از بین بردن این اختلاف افقی دما دارد. اثر چرخش زمین این گونه گردشها را پیچیده تر می کند. حاصل این درهم کنشها گردشهای جوی و اقیانوسی است.
- جریانهایی که در آنها اختلاف دما به صورت خارجی یا داخلی اعمال می شود، به طور معمول با عنوان همرفت معرفی می شوند. در این جریانات انتقال گرما مهم است و برای جریانهایی که اختلاف غلظت (مثلاً شوری) وجود دارد، انتقال جرم اهمیت دارد.
- عوامل ایجادکننده ی جریان در دریاچه ی خزر به صورت زیر است:
۱. وزش بادهای غیریکنواخت به طور مایل
 ۲. تنوع شکل بستر و برخی جداسازی بین بخش شمال، مرکز، و جنوب دریاچه ی خزر
 ۳. شکل خط ساحلی
 ۴. تفاوت دمای آب در بخشهای مختلف دریاچه، افزایش دما از شمال به جنوب
 ۵. شارش رودخانه ها بخصوص ولگا به درون دریا
- به واسطه ی وسعت نسبتاً زیاد دریاچه در طول مدارات، دمای آب تابع قوی ای از عرض جغرافیایی است. بیشترین تغییرات حاد را در دوره های زمستانه داریم. در زمستان بخش شمالی دریا یخ می زند. در طول زمستانهای سخت، تمام بخش شمالی دریا از یخ پوشیده می شود. در این زمان در لبه های یخزده ی شمالی دما از ۰- تا ۰/۵- درجه ی سانتیگراد در تغییر است. در حالی که در جنوب دمای ۱۰- تا ۱۱- درجه را داریم که این به معنای اختلاف دمای ۱۰ درجه ای است. به این ترتیب با یخ زدن آب، آب سرد و شوری به وجود می آید که شیب قاره ای خزر شمالی به عنوان منطقه ی اصلی شکل گیری (ویژگی ترموهالاین) این آبهای عمیق، محسوب می شود. آبهای سرد و شور در نتیجه ی

عمل همرفت و فرورانش از آنجا به بخشهای عمیق خزر میانی و جنوبی می‌رود. چرخه‌ی آب دریاچه‌ی خزر ناشی از اختلاف شرایط دما و شوری آب است. جریانهای ناشی از اختلاف چگالی که در عمق آب وجود دارد، خزر میانی را پادساعتگرد و خزر جنوبی را ساعتگرد دور می‌زند.

آنچه می‌توان نتیجه گرفت این است که اختلاف دما در دریاچه‌ی خزر به دلیل وسعت آن در یک عرض جغرافیایی گسترده اهمیت دارد، ولی همان‌طور که گفتیم تنها عامل برای ایجاد جریانهای سطحی نیست. بنابراین ضمن در نظر گرفتن آن به عنوان عامل مهم باید سایر عوامل هم لحاظ شود تا بتوان جریانهای سطحی را پیش‌بینی کرد. به این منظور می‌توانیم از مدل‌های پیچیده‌تری که این عوامل در آن لحاظ شده، مثل COHERENS¹ و یا مدل² POM استفاده کنیم.

۴-۵ پیشنهادات

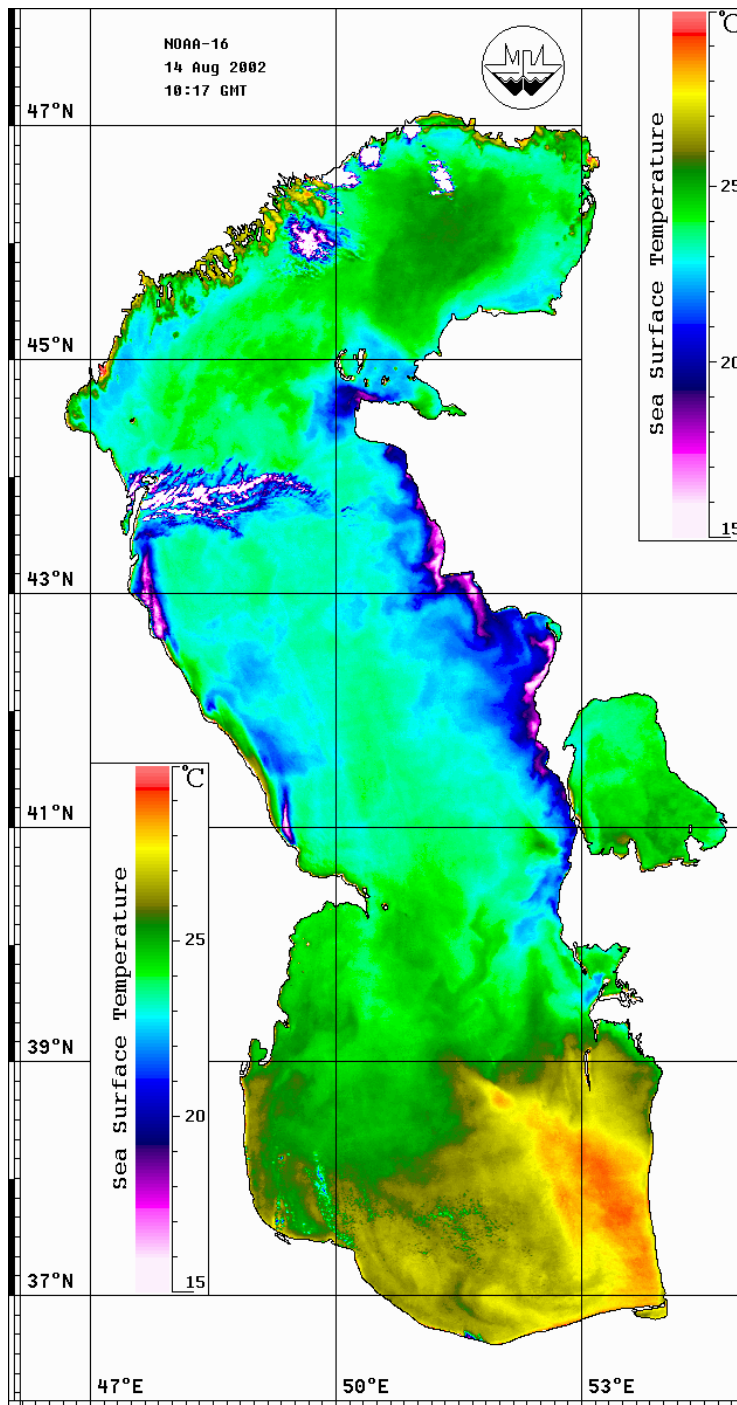
۱. با توجه به اشراف ایران به بخش عظیمی از آبهای خلیج فارس و دریاچه‌ی خزر لازم است که از این تحقیق و موارد مشابه، استفاده و با تجهیزات کامل و برنامه‌های مدون این تحقیقات به صورت گسترده و در زمانهای مختلف از نظر فصول و سال انجام پذیرد تا بتوان به بعضی داده‌های بیشتر منطقه‌ای دست یافت.
۲. اگر هزینه‌ها و مقدار وقت مصرف‌شده محاسبه گردد، این نظریه تأیید می‌شود که استفاده از کاربری ماهواره در شناخت بیشتر دریاها حتی از نظر بیولوژیکی و صید آبزیان و پیش‌بینی بلایای طبیعی می‌تواند فوق‌العاده مفید باشد و این خود یکی از اهداف طراحان اولیه‌ی ماهواره‌های مساحی منابع زمینی بوده است.

¹ COupled Hydrodynamical Ecological model for Regional Shelf seas

² Princeton Ocean Model

پیوست ۱: تصویر ماهواره‌ای از دمای سطحی دریاچه‌ی خزر در تاریخ ۱۴

آگوست ۲۰۰۲، ساعت GMT ۱۰:۱۷ (سایت google)



فهرست منابع

- ۱- اکتانی رضا، ۱۳۷۸، تحلیلی بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب دریاچه‌ی خزر، مرکز تحقیقات و مطالعات منابع آب دریاچه‌ی خزر.
- ۲- پوراصغر فرناز، ۱۳۸۳، بررسی توزیع دما در سطح دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- جاهدی فرشید و فرخی شاهرخ، مبادی سنجش از دور، انجمن سنجش از دور ژاپن
- ۴- حاتم ژاله، ۱۳۸۲، فضا و توسعه‌ی پایدار، دفتر امور فضای ماوراء جو سازمان ملل متحد.
- ۵- زبیری محمود و دلکی احمد، ۱۳۷۰، اصول تفسیر عکسهای هوایی با کاربرد در منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۶- زبیری محمود و مجد علیرضا، ۱۳۷۸، آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۷- سراجیان م و انصاری ع، ۱۳۸۱، محاسبه‌ی بیلان آبی دریاچه‌ی خزر و بررسی روند تغییرات تبخیر در سطح دریاچه، سازمان فضایی ایران.
- ۸- شکر باغانی، ۱۳۸۲، نقش امواج درونی در کنترل جریانهای تبادلی چینه بندی شده مابین دو حوزه‌ی دریایی بسته (حوزه جنوبی و میانی خزر)، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- ۹- شیخ الاسلامی محمدرضا و زمردیان حسین، پاییز ۱۳۷۷، نحوه‌ی توزیع دما، شوری و چگالی در آبهای عمیق دریاچه‌ی خزر با استفاده از اندازه‌گیریهای انجام شده در دو گشت دریایی ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵، مجله‌ی اقیانوسشناسی، جلد یکم، شماره‌ی ۱.
- ۱۰- طاهرکیا حسین، ۱۳۷۵، اصول و کاربرد سنجش از دور، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
- ۱۱- علوی پناه سیدکاظم و متین فرحمیدرضا و سرمیدیان فریدون، ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه‌جویی وقت.
- ۱۲- علیزاده ربیعی حسن، ۱۳۷۲، سنجش از دور (اصول و کاربرد)، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها.

۱۳- فدوی حسین هادی، ۱۳۷۸، مدل سه بعدی گردش در دریاچه‌ی خزر، رساله‌ی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

۱۴- قاسم زاده فرشته، بهار ۱۳۷۷، سال سیزدهم، دریاچه یا دریای خزر؟، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره‌ی ۴۲۴، ص ۱۰۲ تا ۱۱۰

۱۵- کریمی م، ۱۳۸۰، کاربرد تصاویر سنجنده‌ی AVHRR در تهیه‌ی نقشه‌ی دما در سطح دریا SST در منطقه‌ی خلیج فارس، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۱۳

۱۵- مومنی ایرج، ۱۳۷۵، مبانی اقیانوس شناسی، جلد اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی

۱۷- هارپدورتی، دالکی احمد و قادری مرتضی، ۱۳۶۳، چشمی در آسمان، مرکز نشر دانشگاهی تهران.

18- Akhoondzodeh Mehdi & Seradjian M, May 2-9, 2005, A Caspian perspective 2005.

19- Cogan, J.L. and Willanado, J.H. 1976. Measurement of sea surface temperature by NOAA-2 Satellite. Journal of Applied Meteorology, 21: 69-74.

20- D.M. Burrage M.L. Heron, J.M. Hacker, J.L. Miller, T.C. Stieglitz, C.R. Stein berg, A. Pryts-29 August 2002-Remote sensing of Environment- Elseviers, Volume 85. Issue 2, 15 May 2003.

21- Dumont, H.J. 1998, The Caspian Lake: history, biota, structure, and function Limnol, Oceanogr. 43(1): 44-52.

22- Emery william and Thomson Richard, 1998- Data Analysis Methods in Physical Oceanography.

23- Encylopaedia Britannica, edition 1973-1974, Inc. 15th.

24- Floyd F. Sabins- 1997- Remote sensing – Principles and Interpretation – W.H. Freeman and Co-pany New york.

25- Gowda, H., Manikiam, H. and Chandrasekhar, M.G. 1993. Remote sensing for marine fisheries development in INDIA. Journal of Remote sensing. 50:1-7.

26- [http:// earth observatory. nasa. gov/ Library/ Remotesensing/ remote-08.htm](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Remotesensing/remote-08.htm)

- 27- Infrared and Microwave Remote Sensing of sea surface Temperature. Mht.
- 28- Jeremy I.Fisher , John F.Mustard. 15 April 2004, High Spatial resolution sea Surface climatology from landsat thermal infrared data. Remote sensing of Environment volume 90, ISSUE 3.
- 29-Li, X., Krasnopolsky, V. and Sapper, J.2001. Validation of Coastal sea and lake surface temperature measurments derived from NOAA/ ANHRR. International journal of Remote sensing. 22(7), PP: 1285-1303.
- 30- Magellan GPS 2000, Satellite Navigator, 960 overland court, San Dimas, Colifornia 91773 U.S.A
- 31- Malam, J. and Jasson, L.2003. A study of thermal bar in lake ladoga using water surface temperature data from satellite images. Journal of Remote sensing of Environment, Vol 44, PP: 35-46.
- 32- Obaidual, M. and Azimul.A. 1984. Sea surface temperatures of the bay of Bangal from NOAA (AVHRR) satellite and associated data with their possible application. Journal of Asian- Pacific Remote Sensing. Vol 7. PP:22-37.
- 33- Oesch, D.Hauser, A.and Wunderle, S.2002. Deriving lake surface temperature Variations of an alpine lake using NOAA-AVHRR data, Remote sensing research group, Department of Geography , university of Bern, Switzerland. [http:// Saturn.unibe . ch/research](http://Saturn.unibe.ch/research).
- 34- Oesch, D.Hauser, A.and Wunderle, S.2003. Operational mapping of lake surface temperature in the Alps using NOAA-AVHRR data: intercompasion of different lakes. Remote sensing research group, Department of Geography, university of [http:// Saturn-unibe/ rsbern/ NNOAA/ dw/ realtime/ RSGB-AVHRR-SST.pdf](http://Saturn-unibe/rsbern/NNOAA/dw/realtime/RSGB-AVHRR-SST.pdf) .

- 35- Oesch, D., Hauser, A. and Wunderle, S. 2003. Operational processing of NOAA-AVHRR data for mapping lake surface temperatures in an alpine environment: feasibility and Validation in SPIE. International symposium Remote Sensing, SPIE. Barcelona, Spain.
- 36- Parada, M. and Conton, M. 1998. Sea surface temperature variability in ALBORAN sea from satellite data. *Journal of remote sensing*, 19: 2439-2450.
- 37- P.KRISHNA Rao, W.L.SMITH, and R.KOFFLER, 2002. Global sea surface temperature Distribution Determined from an Environmental satellite, National Environmental satellite service, NOAA, Hillcrest Heights, Md.
- 38- Sur, H. and Ozsoy, E. and Ibrayer, R. 2000. Satellite derived flow characteristic of the Caspian sea in: *satellite Oceanography and society*. Vol 16, PP: 294-312.
- 39- Thiemann, S. and Schille, H. 2003. Determination of the bulk temperature from NOAA/AVHRR Satellite data in midlatitude lake. *International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4:339-349.

Abstract:

The changes in time and location of surface temperature from a water body has an important effect on climate activities, marine biology, sea currents, salinity and other characteristics of the seas and lakes water. Traditional measurement of temperature is costly and time consumer due to its dispersion and unstability. In recent years the use of satellite technology and remote sensing sciences for data acquiring and parameter and lysis of climatology and oceanography is well developed. In this research we used the NOAA's Satellite images from its AVHRR system to compare the field surface temperature data with the satellite images information.

Ten satellite images were used in this project. These images were calibrated with the field data at the exact time of satellite pass above the area. The result was a significant relation between surface temperature from satellite data with the field work. As the relative error less than %40 between these two data is acceptable, therefore in our observation the maximum error is %21.2 that can be considered it as acceptable. In all stations the result of satellite measurements is usually less than field data, that cores ponds with the global result too. As this sea has a vast latitude, therefore the different in the temperature is natural. But we know this factor is not the only cause for surface currents. The information of all satellites were images extracted by ERDAS software, and the "Surfer" software is used to plot the isotherm lines.



The Islamic Azad university
science and research branch

A thesis Presented for Degree of M.Sc Physical Oceanography

**The study of correlation between sea surface temperature
(SST) by using the NOAA-AVHRR data and compare this data
with temperature measurement in:of the caspian sea**

Supervisor

Dr.Massood Torabi Azad

Advisor

M.Sc Ahmed Daleki

By

Zohre Jalalzade Azar

2006