



استخراج اطلاعات مربوط به دمای سطحی آب دریاچه ها با استفاده از داده های ماهواره ای

سید علی آزر م سا - استادیار دانشگاه تربیت مدرس

sazarmsa@yahoo.com

فرناز پور اصغر - دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

دما را می توان همان انرژی خورشیدی جذب شده به وسیله مواد- که تبدیل به انرژی حرارتی می شوند، تعریف کرد. آب تابش خورشیدی را به شدت جذب می کند. این جذب تا اعماق زیادی در آب نفوذ می کند. میزان این جذب نسبت به شفافیت آب متغیر است. ضخامت لایه های جاذب انرژی در اقیانوسها و دریاها به دو سه متر می رسد و در بخش وسیعی از آن توزیع می گردد. ضریب جذب بالای آب به همراه گرمای ویژه بالای آن و انتقالهای گوناگون گرما به سایر قسمتهای آب باعث شده است که هر کجا پهنه آبی داشته باشیم به عنوان ذخیره کننده حرارتی عمل کند (کریمی، ۱۳۸۰).

دمای سطح آب دریاها و دریاچه ها تأثیر زیادی روی اکوسیستم منطقه دارد و فعالیتهای انسانی اطراف منطقه آبی را نیز متأثر می شود. حجم مناسب و تغییرات زمانی و مکانی پهنه آبی نقش مهمی در این فرآیند ها ایجاد می کند. دمای سطح دریاچه ها تأثیر مهمی در فعالیت سیستمهای جوی، زندگی آبزیان، جریانات در یابی، شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه ها دارد (عزیزی، ۱۳۷۰). علاوه بر شرایط دمایی کلیماتولوژی، توزیع زمانی و مکانی سطح دریاچه ها برای کاربردهای مختلف ارزشمند است. از جمله این کاربردها می توان به استفاده از دمای دریاچه ها در پیش بینی های عددی وضع هوا^۱ (NWP)، مدلهای عددی تهیه شده برای شاره ها و بودجه انرژی و مطالعه جریان در دریاچه ها و کاربرد آنها در هواشناسی اشاره کرد (Oesch et al., ۲۰۰۲).

^۱ - Numerical weather prediction



دمای آب به وسیله دماسنج هایی که در محفظه هایی به داخل آب فرستاده می شوند، در عمق های مختلف اندازه گیری می شود. این اندازه گیری یا در ایستگاههای ثابت دریایی (بویه) و یا به وسیله قایق ها و کشتیهای تحقیقاتی که در محل های مخصوص مستقرند اندازه گیری می شود.

اندازه گیری و جمع آوری داده های محیطی اعم از داده های هواشناسی، دریایی، اقلیمی، زمین شناسی و غیره در اکثر کشورها به صورت مرتب انجام می گیرد. این روشهای جمع آوری به خاطر گستردگی اقیانوسها و دریاها پر هزینه و وقت گیر هستند و چون اکثر کشورها دارای محدودیت منابع مالی و فنی هستند سطح پوشش و دوره های جمع آوری این داده ها دارای نواقص زیادی است. در کشور ما نیز به علت عدم دسترسی به امکانات مناسب جمع آوری داده ها دارای نواقصی است. این امر در پاره ای از اوقات زیر نظر یک سازمان بین المللی نیز انجام می پذیرد. روشهای اندازه گیری در طی سالیان با پیشرفتهای و دگرگونی هایی مواجه شده است. هر روز شاهد بهبود روش قبلی و جایگزینی روش و وسایل جدید به جای آن می باشیم. داده های ماهواره ای یکی از این منابع اطلاعاتی هستند که در بسیاری از موارد جایگزین اطلاعات ثبت شده توسط وسایل اندازه گیری قدیمی شده اند. از موقعی که ماهواره ها به خصوص ماهواره های هواشناسی به فضا پرتاب شده اند تا به حال کاربردهای گوناگونی از داده های ثبت شده توسط آنها معرفی و ارائه شده است (طاهرکیا، ۱۳۷۵).

کاربردها:

کوگان و ویلاندو (Cogan and Willand, ۱۹۷۶) با استفاده از داده های ماهواره NOAA^۱ در یک منطقه اقیانوس به ابعاد ۴۰ در ۴۰ کیلو متر در زمانهای متفاوت به بر آورد درجه حرارت سطحی آب دریا (SST) از داده های ماهواره ای و مقایسه آن با داده های اندازه گیری شده دریایی پرداخته اند. آنها متذکر شده اند جدا از اثر جذب ناشی از بخار آب، در اکسید کربن و لایه ازن، آتروسول های موجود در جو باعث می شوند که دمای بدست آمده از داده های ماهواره ای همواره کمتر از مقدار اندازه گیری شده به وسیله کشتی ها و دیگر روشها باشد. در این مطالعه، آنها بیشتر به تصحیح اثر اتمسفری در برآورد SST از داده های ماهواره ای پرداخته اند.

در استخراج داده های SST از تصاویر ماهواره ای و تهیه نقشه های دمای سطح دریا و کاربرد آن در توسعه صنعت ماهیگیری گودا و همکاران (Goda et al., ۱۹۹۳) تحقیقی را در سازمان تحقیقاتی فضائی هند انجام دادند. آنها در تحقیق خود ضمن استخراج داده های SST، دیگر پارامترهای دریایی مثل رنگ آب را نیز به وسیله تصاویر ماهواره ای استخراج کردند. سپس با استفاده از نقشه SST اقیانوس هند، اطلاعات دیگری مثل جبهه های حرارتی (جائی که دو توده آب با درجه حرارت های متفاوت به هم برخورد می کنند)، گردابه ها^۲ (آشفستگی های دریایی با هسته های سرد و گرم)، مناطق بالا آمدگی (Up welling) را نیز بدست آوردند. نهایتاً این اطلاعات برای تعیین محل تجمع انواع ماهیان مورد استفاده قرار گرفته است. زیرا در مناطق بالا آمدگی، آب از اعماق به طرف بالا جریان می یابد. لذا با خود مواد غذایی به خصوص فیتو پلانکونها را به سطح می آورد و این محلها یکی از مناطق تجمع گونه های مختلف ماهیها به شمار می رود.

^۱-National Oceanic and Atmospheric Administration

^۲-Eddy



مالم و جانسون (Malam and Jansson, ۱۹۹۳) مطالعه ای را روی ترمال بار در دریاچه لوداگن^۱ با استفاده از داده های ماهواره ای دمای سطح آب دریاچه انجام دادند. در طول بهار و پاییز پدیده های ترمو هیدرودینامیکی که ترمال بار نامیده می شود در دریاچه دیده می شود. ترمال بار منطقه اختلاط است که آبهای با دمای بالاتر و پائین تر از ۴ درجه سانتی گراد را جدا می کند. اهمیت کاربردی آن تفکیک منطقه دور از ساحل است که ممکن است سبب آلودگی جدی در طول ساحل شود.

اوش و همکاران (Oesch et al., ۲۰۰۲) با استفاده از سنسور ماهواره NOAA ۱۶ و کاربرد اطلاعات مربوط به گذر ظاهر آن در کانال ۴ (۱۰/۳-۱۱/۲ μm) و ۵ (۱۲/۵-۱۱/۵ μm) و بر اساس واحدهای روشنایی دما و الگوریتم غیر خطی NLSST که توسط لی (Li, ۲۰۰۱) و توسط اوش (Oesch, ۲۰۰۳) توضیح داده شده بود، دمای سطح دریاچه ژنو^۲ را محاسبه کردند. این دریاچه یکی از دریاچه های 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 درجه حرارت سطحی دریاچه ژنو با استفاده از سنجنده NOAA-AVHRR، جمع آوری اطلاعات در مورد تغییرات سالانه دمای سطح آب این دریاچه بوده است. با توجه به اینکه دریاچه 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 می گیرد. بنابر این پوشش مکانی و ثبت داده توسط سنجنده AVHRR و استفاده از تصاویر ماهواره ای امکان جدیدی را برای دیده بانی پدیده های مرتبط و متاثر از درجه حرارت سطحی دریاچه ها (LSWT^۳) فراهم می کند. بعلاوه آنالیز دراز مدت LSWT خصوصیات دریاچه های مختلف را نیز ارائه می دهد.

اوش و همکاران (Oesch et al., ۲۰۰۳) دمای سطح آب دریاچه های منطقه آلپ را بطور عملی از روی اطلاعات سنجنده AVHRR ماهواره NOAA و با استفاده از یک الگوریتم غیر خطی استخراج کردند. اطلاعات ارائه شده در این زمینه بینش و امکانات جدیدی را برای مدل سازی پدیده های هواشناسی در مقیاسهای محلی مثل بودحه گرمایی و انرژی تبخیر را فراهم می آورد. آنها نتیجه گرفتند که تصاویر سنسورهای مادون قرمز نصب شده روی ماهواره های هواشناسی مثل NOAA-AVHRR بهترین ابزار برای بدست آوردن اطلاعات الگوی توزیع دمایی برای پهنه آبی است. هدف اصلی تحقیق آنها بررسی سنجنده های سری AVHRR-NOAA و تعیین سنجنده مناسب برای تهیه نقشه های دمای سطح آب دریاچه (LSWT) برای پهنه های کوچک آبی در منطقه آلپ است. آنها در تحقیق خود از الگوریتم غیر خطی Split Window (NLSST) به صورت زیر، استفاده کردند:

$$\begin{aligned} NLSST &= A_1(T_{11}) + A_2(T_{11} - T_{12})(MCSST) + A_3(T_{11} - T_{12})(\sec q - 1) - A_4 \\ MCSST &= B_1(T_{11}) + B_2(T_{11} - T_{12}) + B_3(T_{11} - T_{12})(\sec q - 1) - B_4 \end{aligned}$$

^۱ - Lodagan

^۲ - Geneve

^۳ - Lake water surface temperature



آنها سه دریاچه با سایز و خصوصیات مورفولوژی متفاوت شامل: دریاچه مارتن (Murten) با ۲۳ کیلومتر مربع، ژنو (Geneva) با ۵۸۳ کیلومتر مربع و نوشاتل (Nushatel) با ۲۱۷ کیلومتر مربع با رژیم زیستی متفاوت و عمق متغیر از ۴۶ تا ۳۱۰ متر مورد مطالعه قرار دادند.

مشاهده شد که تغییرات سالیانه دمای سطح آب تابعی از سایز دریاچه است. در این میان دریاچه مارتن (Murten) بدلیل حجم کوچک تغییرات سالیانه بیشتری را نسبت به دریاچه های با سایز بزرگتر نشان می دهد.

تیمن و اسچیلر (Thiemann and Schiller, ۲۰۰۳) مقدار دمای سطح دریاچه را با استفاده از داده های NOAA-AVHRR مورد بررسی قرار دادند. با توجه به اینکه تغییرات زمانی و مکانی اندازه دما نقش ارزشمندی در فرایندهای بیولوژیکی و هیدرودینامیکی دارد، به مطالعه رژیم دمایی در سیستم جانوران آبی و تأثیرات مهم آن بر روی دینامیک فیتو پلانکتونها پرداختند. به این منظور، آنان اطلاعات دما را با توزیع مکانی تمرکز کلروفیل - که از وفور پلانکتونها در فصلهای مختلف نتیجه می شود، مورد مقایسه قرار دادند. به علاوه آنها الگوی زمانی و مکانی اندازه دما و تاثیرات آنها در مطالعه فرایندهای هیدرو دینامیکی را مورد بررسی قرار دادند.

در ایران نیز با استفاده از داده های ماهواره ای برای محاسبه دمای سطحی کارهای موردی و آزمایشی انجام گرفته است. زبیری و مجد (۱۳۷۴) با استفاده از باندهای حرارتی (باند ۶ سنجنده TM) به محاسبه درجه حرارت سطح آب دریاچه مهارلو پرداختند. همچنین در سال ۱۳۷۵ مرکز سنجش از دور با استفاده از داده های NOAA و TM به برآورد دمای سطح آب در نواحی محدودی از خلیج فارس اقدام نمود. سراجیان و انصاری (۱۳۸۱) نیز با استفاده از تصاویر NOAA و روش Split Window به محاسبه بیلان آبی دریای خزر و بررسی روند تغییر تعرق در سطح دریاچه پرداختند.

معرفی ماهواره ها و سنجنده ها:

از سال ۱۹۶۰ با پرتاب اولین سری ماهواره های هواشناسی Tiros مشاهدات هواشناسی و اقیانوسی از فراز زمین شروع شد. در سال ۱۹۷۰ با پرتاب ماهواره های هواشناسی سری NOAA جمع آوری اطلاعات هواشناسی و اقیانوسی و استفاده از این اطلاعات گسترش روز افزونی یافت.

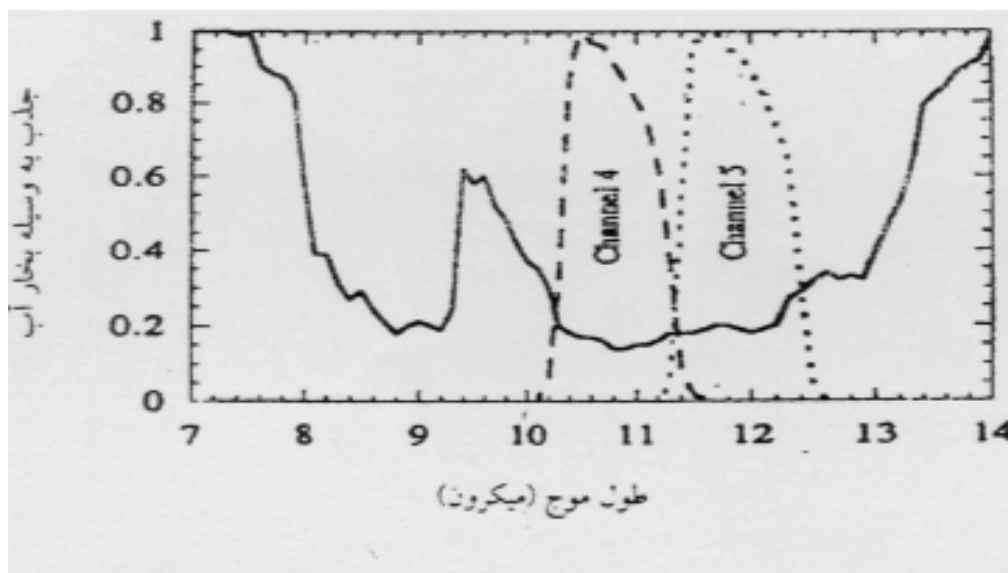
بر روی سری های NOAA سنجنده های مختلفی نصب شده است. بر روی NOAA ۱۲, NOAA ۱۴, سنجنده AVHRR نصب شده که در ۵ باند طیفی (باند یک در محدوده مرئی، باند دو در محدوده مادون قرمز نزدیک، باند سه در محدوده مادون قرمز میانی، باند ۴ و ۵ در محدوده مادون قرمز حرارتی) به سنحش زمین مشغول است. اما در سری NOAA ۱۶, NOAA ۱۵ از سنجنده AVHRR که دارای ۶ باند طیفی است، استفاده شده است. این سنجنده نیز در حقیقت در ۵ باند طیفی کار می کند، اما باند ۳ به صورت جایگزینی عمل می کند. بدین صورت که در روز این باند که به ۳A معروف است در محدوده مادون قرمز انعکاسی و در شب که به ۳B معروف است در محدوده مادون قرمز میانی کار می کند. جدول ۱ مشخصات سنجنده AVHRR را نشان میدهد. برای تعیین دمای سطح آب بیشتر از باندهای (۵و۴) استفاده می شود. هر ماهواره دو بار در شبانه روز یک منطقه را مورد سنجش قرار می دهد و چون در هر زمان حداقل دو ماهواره در مدار قرار دارند (در حال حاضر چهار ماهواره NOAA ۱۲-۱۴-۱۵-۱۶ در مدار هستند).



جدول ۱: مشخصات سنجنده ۳ AVHRR و نوع کاربرد باند های مختلف آن

باند ها	محدوده طیفی (میکرون)	کاربردها
۱	۱/۵۸-۱/۶۸	نمایش ابر، برف و یخ
۲	۱/۷۲۵-۱/۱	بررسیهای کشاورزی، مطالعات پوشش گیاهی و آب
۳A	۱/۵۸-۱/۶۴	شناخت ابر، یخ و برف
۳B	۳/۵۵-۳/۹۳	درجه حرارت سطح دریا ها، آتشفشان و آتش سوزی
۴	۱۰/۳-۱۱/۳	درجه حرارت سطح دریا، رطوبت خاک
۵	۱۱/۳-۱۲/۵	درجه حرارت سطح دریا، رطوبت خاک

بنابر این در هر شبانه روز هشت تصویر از منطقه خواهیم داشت، که این از ویژگیهای مثبت تصاویر برای مطالعه پدیده هایی است که در زمان کوتاهی تغییرات سریع دارند. با این همه استخراج داده های دمای سطحی آب با موانع و مشکلاتی روبه رو است. این مشکلات عمدتاً ناشی از ویژگی های AVHRR، دمای سطح آب در تصاویر طیفی، شرایط سطح آب (موج یا آرام بودن) تأثیرات اتمسفر و گازهای جوی می باشد. اما با تکنیکهای متفاوت و انجام برخی تصحیحات بر روی این تصاویر می توان اثرات عوامل فوق را کاهش داد. روشهای متفاوتی برای محاسبه دمای سطح آب از تصاویر ماهواره ای وجود دارد که بهترین و کارآمدترین آنها تکنیک (Scott and Split window Casey, ۱۹۹۸) است (شکل ۱).



شکل ۱- در تکنیک Split window با استفاده از تفاوت جذب در دو باند ۵ و ۴ تصاویر AVHRR اثر اتمسفر تصحیح می گردد.

سنجنده AVHRR

بیش از ۴۰ سال است که از پرتاب اولین ماهواره های هواشناسی می گذرد. سنجنش از دور توسط اولین سری ماهواره بدون سرنشین TIROS در آوریل ۱۹۶۰ آغاز شد. از آن تاریخ به بعد در قابلیت های مکانی - طیفی و دیگر ویژگی ها نظیر مشخصات سکویهای پرتاب، پیشرفت های زیادی حاصل شد. یکی از این سری ماهواره ها سری NOAA است که از پیشرفت و توسعه همان سری اولیه TIROS حاصل شده است. یکی از مهمترین سنجنده هایی که این ماهواره حمل می کند سنجنده AVHRR (پرتوسنج پیشرفته با تفکیک خیلی بالا) است. این سنجنده از سال ۱۹۷۰ بر روی این ماهواره ها NOAA ۱۶ یا سری L در حال فعالیت است. علاوه بر سنجنده AVHRR، ماهواره NOAA سنجنده های مختلفی بر روی خود حمل می کند که مشخصات آنها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: مشخصات سنجنده های موسوم به TOVS ماهواره NOAA (جاهدی، ۱۳۷۵)

سنجنده	تعداد باند	موارد استفاده
HIRS	۲۰	آشکار سازهای ابرها - ژرفاسنجی بخار آب - ازن
SSU	۳	ژرف سنجی دما
MSU	۴	گسیلمندی سطحی، ژرفاسنجی دما



اما مهمترین این سنجنده ها همان AVHRR است. این سنجنده یک اسکن کننده خطی رادیو متریک (پرتو سنج) است که برای اندازه گیری تابش گسیل شده طراحی شده است. مشخصات سربهای مختلف AVHRR در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: مشخصات طیفی سربهای مختلف سنجنده AVHRR^۱.

AVHRR _۱		AVHRR _۲		AVHRR _۳	
باندها	محدوده طیفی (میکرون)	باندها	محدوده طیفی (میکرون)	باندها	محدوده طیفی (میکرون)
۱	۰/۵۸-۰/۶۸	۱	۰/۵۸-۰/۶۸	۱	۰/۵۸-۰/۶۸
۲	۰/۷۲۵-۱/۱	۲	۰/۷۲۵-۱/۱	۲	۰/۷۲۵ - ۱/۱
۳	۳/۵۵-۳/۹۳	۳	۳/۵۵-۳/۹۳	A _۳	۱/۵۸-۱/۶۴
۴	۱۰/۵-۱۱/۵	۴	۱۱/۵ - ۱۱/۳	B _۳	۳/۵۵-۳/۹۳
_____	_____	۵	۱۱/۵-۱۲/۵	۴	۱۰/۳-۱۱/۳

برای استفاده بهتر باید خروجی های هر پنج باند کالیبره شوند. به این منظور این خروجی ها با خروجی های شناخته شده باندهای ۲ و ۱ در آزمایشگاه و قبل از پرتاب مقایسه می شوند. اما باندهای ۳ و ۴ در حین پرواز و با سنجش پدیده های سرد و گرم کالیبره می شوند.

اطلاعات:

۱- تصاویر AVHRR:

تصاویر AVHRR اطلاعات پایه تحقیق را تشکیل می دهند و تجزیه و تحلیل بر روی همین اطلاعات انجام می شود.

۲- داده های دریایی:

برای تبدیل اعداد رقومی (Digital Numbers) استخراج شده از تصاویر به اطلاعات دمای سطحی دریا و به منظور تعیین دقت این داده ها به داده های مرجع نیاز است. در بیشتر تحقیقات انجام شده از داده های اندازه

^۱ -www.ncd.noaa.gov/doc/podug



گیری شده به وسیله بویه های مستقر در دریاها و اقیانوسها و همچنین کشتیهای تحقیقاتی استفاده می شود. در اغلب موارد کمبود اطلاعات پایه به عنوان یکی از اصلی ترین مشکلات پیش روی تحقیقات مطرح است.

تصحیحات لازم:

۱- تصحیحات هندسی^۱ :

تصاویر برداشت شده به وسیله ماهواره های مختلف از لحاظ هندسی با هم متفاوت هستند و هندسه زمینی در آنها لحاظ نشده است. برای همین منظور می توان تصاویر خام را بر حسب نیاز و نوع استفاده، تصحیح هندسی نمود، و یک سیستم مختصات به آن نسبت داد تا تصویر جدیدی بدست آورد که برای تک تک پیکسلها ی آن موقعیت زمینی مشخص باشد.

۲- تصحیح سیستماتیک^۲ :

در این روش با استفاده از مشخصات مداری ماهواره ها و مشخصات طول و عرض خط اسکن نسبت به تصحیح اثر چرخشی زمین و کرویت آن اقدام می شود.

۳- نقاط کنترلی زمینی^۳ و تبدیل مختصات^۴ :

در روش نقاط کنترل زمینی از یک تصویر تصحیح شده یا نقشه برای اصلاح و حذف خطاهای هندسی تصویر استفاده می گردد. در این روش موقعیت نقاط در نقشه یا تصویر تصحیح شده به همان نقاط در تصویر خام نسبت داده می شود .

محاسبه دمای سطح آب و الگوریتم پیشنهادی:

دمای استخراج شده برای باندهای ۴ و ۵ که به دمای روشنایی یا دمای تابش معروف هستند را نمی توان مستقیماً به عنوان دمای اجسام سنجش شده مورد استفاده قرار داد. این دما متأثر از ضریب گسیلمندی، دمای اجسام، اتمسفر و خطاهای مربوط به سیستم سنجش است. لذا نیاز به کالیبراسیون (تصحیحات) اتمسفری و حرارتی (گسیلمندی) داریم.

برای بدست آوردن رابطه ای که بتوان به وسیله آن دمای روشنایی را به دمای جسم تبدیل کرد نیاز به دماهای اندازه گیری شده زمینی داریم تا با استفاده از داده های زمینی، دمای روشنایی باندها و همچنین اختلاف بین باندها، رابطه ای برای محاسبه دما بدست آورد که خود این عمل نیز در حقیقت کالیبراسیون با داده های زمینی نیز به حساب می آید.

^۱ - Geomatic Correction

^۲ - Systematic Correction

^۳ - Ground Control Point

^۴ - Coordinate Transformation



بعد از اینکه دمای روشنائی تصاویر باند ۵۰۴ محاسبه شد، برای هر پیکسل تصویر یک عدد رقومی در اختیار قرار می‌گیرد. سپس، درجه حرارت اندازه‌گیری شده در ایستگاههای اندازه‌گیری بر حسب مقادیر اعداد رقومی به دست آمده برای نقاطی از تصویر که متناظر با محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری هستند ترسیم می‌شوند. به همین دلیل ضروری است که مکان اندازه‌گیری‌های درجه حرارت بر روی دریاچه مورد نظر به گونه‌ای انتخاب یا تنظیم شوند که در محدوده تصویر ماهواره‌ای مورد نظر باشند و زمان اندازه‌گیری‌ها نیز به ساعت تصویربرداری نزدیک باشند. آنگاه، منحنی‌هایی بر نقاط ترسیم شده برازش داده می‌شود و با انجام آنالیز رگرسیون منحنی با کمترین خطا تعیین می‌گردد. نهایتاً، با کاربرد رابطه بدست آمده برای بهترین منحنی برازش شده در مورد تمامی اعداد رقومی روی تصویر، دمای سطح آب دریاچه در تمامی نقاط محاسبه می‌شود. نهایتاً، با مقایسه درجه حرارت اندازه‌گیری شده در ایستگاههای شاهد و درجه حرارت به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای خطای برآوردها محاسبه می‌گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات:

روشهای اندازه‌گیری در طی سالیان پیشرفتهای زیادی داشته است و هر روز شاهد بهبود روش قبلی و جایگزینی روش و وسایل جدید به جای روش‌ها و وسایل اندازه‌گیری سنتی می‌باشیم. داده‌های ماهواره‌ای یکی از این منابع اطلاعاتی هستند که جایگزین بسیاری از وسایل اندازه‌گیری قدیمی گردیده‌اند. استخراج اطلاعات درجه حرارت سطحی آب دریاچه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از مزایای: کم هزینه بودن، صرف وقت کمتر، پوشش وسیع و ثبت هم‌زمان برخوردار است. لذا، با توجه به فقدان اندازه‌گیری‌های قبلی در کشور از یک طرف و امکان دسترسی مناسب به تصاویر ماهواره NOAA از طرف دیگر، می‌توان با استفاده از روش اندازه‌گیری ماهواره‌ای به عنوان روش بهینه به اندازه‌گیری و تولید اطلاعات مربوط به درجه حرارت سطحی آب‌های کشور اقدام کرد.

فهرست منابع:

- جاهدی، ف. و فرخی، ش. (۱۳۷۵). مبانی سنجش از دور. مرکز سنجش از دور ایران. ۲۷۲ ص
- زیبری، م. و مجد، ع. (۱۳۷۸). آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران ۴۰۵ص
- سراجیان و انصاری، ع. (۱۳۸۱). مرکز سنجش از دور ایران.
- طاهرکیا، ح. (۱۳۷۵) اصول و کاربرد سنجش از دور، انتشارات دانشگاه تهران. ۲۳۶ص.
- عزیزی، قاسم. (۱۳۷۵) اقلیم و بحرانه‌های محیطی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۰۵ص



- کریمی، م. (۱۳۸۰). کاربرد تصاویر سنجنده AVHRR در تهیه نقشه دما در سطح دریا SST در منطقه خلیج فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۷ ص.
- Cogan, J. L. and Willanad, J. H. (۱۹۷۹). Measurement of sea surface temperature by NOAA-۲ satellite. *Journal of Applied Meteorology*, ۲۱:۶۹-۷۴.
- Gowda, H., Manikiam, H., Jayayaman, V. and Chandrasekhar, M. G. (۱۹۹۳). Remote sensing for marine fisheries development in INDIA. *Journal of Remote Sensing*, ۵۰:۱-۷.
- Li, X., W. Pichel, P. Clemente-Colon, V. Krasnopolsky, and G. Sapper, (۲۰۰۱). Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data. *Inter. J. Remote Sensing*. ۲۲ (۷), pp: ۱۲۸۵-۱۳۰۳.
- Malam, J, Jonsson. L. (۱۹۹۳). Remote sensing of Environment. Volume ۴۴، ۱:۳۵-۴۶
- Oesch, D, and Wunderle. S. (۲۰۰۲). Operational processing of NOAA – AVHRR data for mapping lake surface temperatures in an Alpine environment: feasibility and validation. Remote sensing research group, dept. Geography, Univ. Bern.
- Oesch, D, and Wunderle. S. (۲۰۰۳). Operational mapping of lake surface temperature in the Alps using NOAA – AVHRR data: Intercomparison of different lakes. Remote sensing research group, dept. Geography, Univ. Bern.
- Scott. P, Casey. K. (۱۹۹۸). Sea surface temperature trends from satellite and in situ data (Global Warming. University of Rhode Island).
- Thiemann. S and Schiller. H. (۲۰۰۳). *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*. ۴:۳۳۹-۳۴۹.