

دوره آموزشی پایش تراز دریا و اهمیت آن در مطالعات تغییرات اقلیمی

مدیریت آبنگاری و امور جزرومدی

اداره جزرومدی و جریان سنجی

پایش تراز دریا:

- اندازه گیری ارتفاع سطح دریا نسبت به یک مرجع ارتفاعی (سطح متوسط دریا، LAT، ژئوئید)
- پوشش ۷۰ درصدی سطح زمین از آب
- اهمیت پایش ارتفاع سطح دریا در عرصه های اقتصادی، سیاسی، نظامی و تجاری
- پایش روزانه ارتفاع سطح دریا به همراه ارائه پیش بینی آن به منظور خدمات رسانی به نهادها، مؤسسات، مراکز علمی و تحقیقاتی
- سازمان نقشه برداری کشور متولی ارائه اطلاعات مکانی می باشد که با محوریت مدیریت آبنگاری و امور جزرومدی به انجام مأموریت های هیدروگرافی و پایش تراز دریا پرداخته و وظیفه تولید چارت های دریایی و ارائه اطلاعات مربوط به پایش تراز دریا را بر عهده دارد.

پایش تراز دریا:

خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان

دریاچه خزر

➤ قرارگرفتن ایران بین دو منبع آبی مهم

➤ احداث ایستگاههای پایش تراز دریا توسط سازمانهای مختلف با توجه به مأموریتهای آنها

➤ سامانه پایش تراز دریا سازمان نقشه برداری کشور به عنوان تنها مرکز ارائه دادههای آنلاین در کشور و همچنین تنها مرکز ارائه اطلاعات پیش بینی جزرومد و ارائه اطلاعات ماهیانه تراز دریاچه خزر در فرمت CaspCOM

نرم افزار NCC Tide

سامانه SLMS

پایش تراز دریا:

https://sims.ncc.gov.ir/stationlists.aspx

صفحه اصلی | پایش بینی جزر و مدی | داده های بر خط | دریای ما | راهنمای استفاده از سایت | سوالات متداول | راهنمای استفاده از اطلاعات جزر و مدی | پیاده حرم خصوصی | ورود

Location	Code	Level	Date Time	Delay	show	average
Gilan						
Hasht	GBL1	-30.70	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Mazali	GBL2	-30.14	9/10/2025 1:45:00 PM	0.00%	0.00%	0.00%
Chamkhal	GBL3	-30.40	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Mazandaran						
Norvabar	MAZ1	-35.55	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Fereydunkenar	MAZ2	-34.44	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Keshavarz	MAZ3	-30.00	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Guilan						
Torkaman	GBL1	-30.55	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Khorasan						
Ustad	KBL1	1.22	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Khorramshahr	KBL2	1.40	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Emamshahr	KBL3	1.40	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Harand Khar	KBL4	1.30	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bahar						
Emamshahr	BLS1	1.70	10/02/2025 7:45:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Bahar	BLS2	1.70	4/17/2025 12:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Agha	BLS3	-2.14	6/22/2010 11:30:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Dayyer	BLS4	1.02	10/02/2025 7:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Kangan	BLS5	0.80	7/6/2024 4:15:00 PM	0.00%	0.00%	0.00%
Hormozgan						
Isk	HBL1	1.02	10/02/2025 8:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Lengeh	HBL2	1.20	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Kish	HBL3	2.00	10/02/2025 8:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Bandar-e Shahr-e Kish	HBL4	2.71	10/02/2025 8:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Chabahar	HBL5	2.00	10/02/2025 8:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Isk	HBL6	3.00	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Sistan va Baluchistan						
Chabahar	SVB1	2.00	10/02/2025 8:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Chabahar	SVB2	2.00	10/02/2025 8:15:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%
Kalut	SVB3	4.00	10/02/2025 8:00:00 AM	0.00%	0.00%	0.00%

Online Delayed Offline No G Service

https://sims.ncc.gov.ir

صفحه اصلی | پایش بینی جزر و مدی | داده های بر خط | دریای ما | راهنمای استفاده از سایت | سوالات متداول | راهنمای استفاده از اطلاعات جزر و مدی | پیاده حرم خصوصی | ورود

در این بخش می توانید اطلاعات آماری ماهانه دریای خزر، شامل میانگین های ماهانه و بیشترین و کمترین مقدار تراز آب دریای خزر را در فرمت استاندارد CaspDOM مشاهده و دانلود نمایید.

اطلاعات ماهانه جزر و مد فرمت CaspDOM

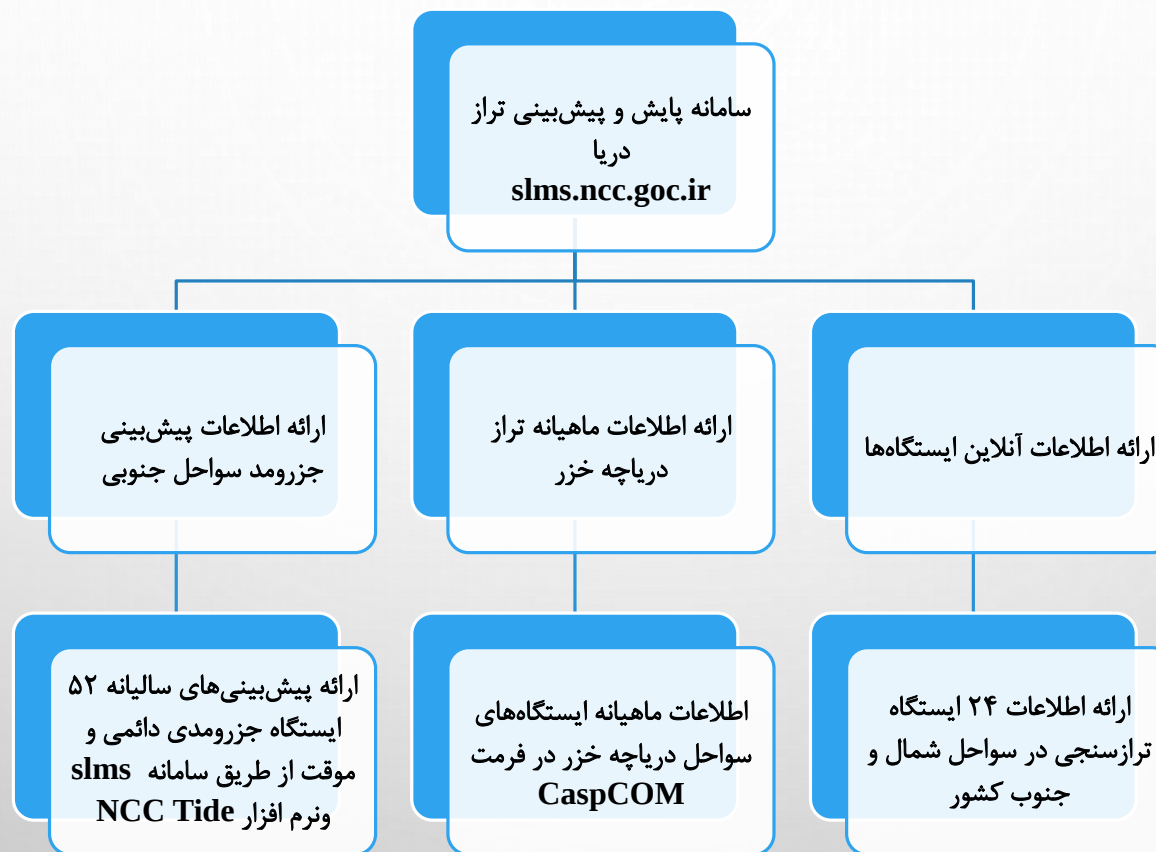
در این بخش کاربران میتوانند ضمن مشاهده ایستگاههای ساحلی و آخرین وضعیت آنها از مقدار تراز دریا و تغییرات ۱۲ ساعت اخیر آن به صورت نمودار مطلع گردند. ضمناً مقادیر متوسط تراز دریا به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه در دسترس است.

داده های بر خط

در این بخش کاربران میتوانند مقادیر پایش بینی جزر و مد برای ایستگاه های ساحلی جنوب کشور را به صورت نمودار مشاهده نموده و یا به صورت فایل دانلود نمایند. این پایش بینی ها بر اساس داده های سالیان گذشته این ایستگاهها انجام شده است که در آن از حداقل ۲۴ مولفه (برای ایستگاههای مختلف) IIF مولفه (برای ایستگاههای بلند مدت و دائمی اجز و مدی) استفاده شده است و مقادیر نسبت به چارت دیتوم میباشد.

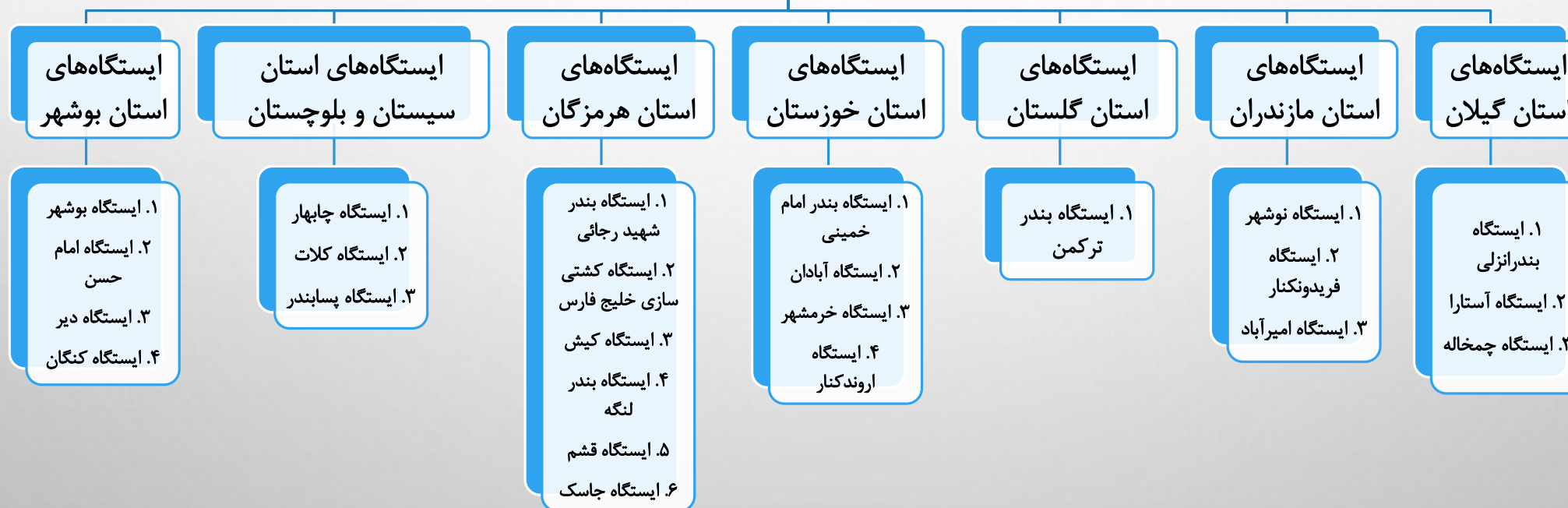
پیش بینی جزر و مد

سامانه پایش و پیش بینی تراز دریا:



سامانه پایش و پیش بینی تراز دریا:

ارائه اطلاعات آنلاین ایستگاه‌های ترازسنجی



ایستگاه‌های پایش تراز دریا سازمان نقشه برداری کشور:



تعاریف:

تایید گنج: دستگاهی است که به منظور اندازه گیری و ثبت تغییرات تراز آب بدنه های آبی شامل دریاها، دریاچه ها و رودخانه ها بکار میرود. با توجه به تکنولوژی مورد استفاده در این اندازه گیری، این دستگاه ها به انواع مختلفی تقسیم میشوند که از این جمله میتوان به دستگاههای شناوری، فشاری، راداری و آکوستیک اشاره نمود.

تراز دریا: ارتفاع مشاهداتی سطح دریا در زمان مشخص و نسبت به سطح مبنای تعریف شده.

جزرومد: عبارت است از بالا و پایین رفتن سطح اقیانوسها، دریاها، خلیجها و غیره، به دلیل وجود نیروی گرانشی ناشی از ماه، خورشید و اجرام سماوی دیگر.

جزرومد نیم روزانه (Semi-diurnal tide): جزرومد با دوره تناوب تقریباً ۱۲ ساعت

جزرو مد روزانه (Diurnal tide): جزرومد با دوره تناوب تقریباً ۲۴ ساعته

مهکشند (Spring): جزرومد با بیشترین دامنه ناشی از قرارگیری نسبی ماه و خورشید در فاز صفر و ۱۸۰ درجه نسبت به یکدیگر و یا بعبارت بهتر قرارگیری ماه، خورشید و زمین در یک امتداد (ابتدا و نیمه ماه های قمری)

کمهکشند (Neap): جزرومد با کمترین دامنه ناشی از قرارگیری نسبی ماه و خورشید در فاز ۹۰ و ۲۷۰ درجه نسبت به یکدیگر (روزهای ۷ و ۲۱ ماههای قمری)

تعاریف:

سطح مبنای چارت دریایی یا چارت دیتوم: سطحی مبنایی است که تمام عمق های نمایش داده شده بر روی چارت های دریایی نسبت به آن بوده و معمولاً پیش‌بینی‌ها و سطوح جزرومدی نیز نسبت به آن ارائه میشوند. پایین ترین تراز دریا بعنوان چارت دیتوم در نظر گرفته میشود و عموماً از LAT و MLLW بدین منظور استفاده میشود.

سطوح مبنای جزرومدی: سطوح مختلف تراز دریا که با استفاده از داده های تراز دریا و یا استخراج مؤلفه های جزرومدی محاسبه و تعریف می شود.

سطح متوسط دریا (MSL): میانگین یا متوسط تراز دریا که از اعمال فیلترهای پایین گذر بر روی مشاهدات ساعتی و یا میانگین‌گیری تراز دریا در بازه زمانی نسبتاً طولانی (سالانه، ۱۸.۶ سال) بدست می آید.

سطح متوسط جزرومد (MTL): تراز دریا که از میانگین‌گیری MHW و MLW حاصل میشود.

سطح متوسط جزرها (MLW): متوسط ارتفاع تمامی جزرها در یک بازه زمانی مشخص.

سطح متوسط مدها (MHW): متوسط ارتفاع تمامی مدها در یک بازه زمانی مشخص.

تعاریف:

سطح متوسط بلندترین مدها (MHHW): متوسط ارتفاع بالاترین مدهای روزانه در یک بازه زمانی مشخص.

سطح متوسط کوتاهترین جزرها (MLLW): متوسط ارتفاع پایینترین جزرهای روزانه در یک بازه زمانی مشخص

سطح متوسط کوتاهترین مدها (MLHW): متوسط ارتفاع پایینترین مدهای روزانه در یک بازه زمانی مشخص

سطح متوسط بلندترین جزرها (MHLW): متوسط ارتفاع بالاترین جزرهای روزانه در یک بازه زمانی مشخص.

پایینترین سطح جزرومدی نجومی (LAT): پایینترین تراز دریای مورد انتظار با توجه به ترکیب مؤلفه های جزرومدی و تحت شرایط نرمال

آب و هوایی که آب دریا به ندرت پایینتر از آن قرار میگیرد و با آنالیز داده های بلندمدت تراز دریا محاسبه میشود.

پدیده جزرومد:

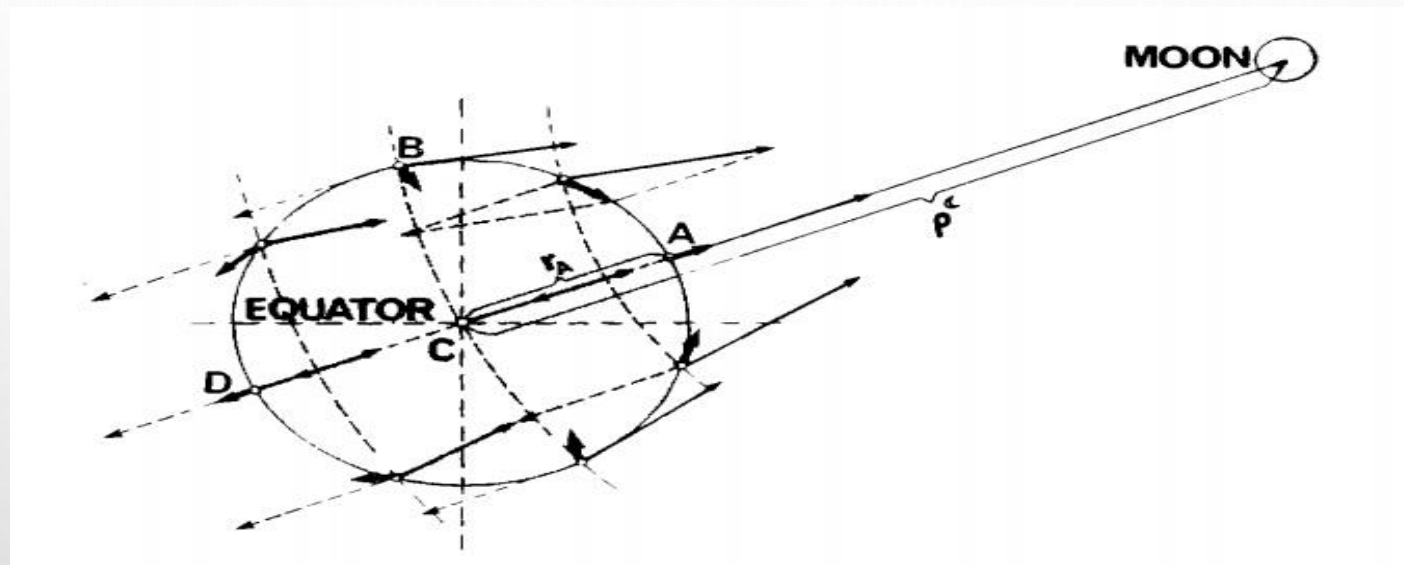
در صورتیکه زمین را بصورت مایع فرض کرده و از خشکی ها و اصطکاک بستر صرف نظر نماییم، جزرومد با توجه به وجود ماه و خورشید و کشش سطحی ایجاد شده توسط نیروهای جزرومدی بصورت کشیده در امتداد ماه و خورشید درآمده و میزان جزرومد و زمان وقوع آن به سادگی قابل مدلسازی خواهد بود. ولی جزرومد واقعی در نقاط مختلف کره زمین با توجه به وجود عوامل مختلف دارای پیچیدگی هایی است. دامنه جزرومد تحت تاثیر اصطکاک بستر دریاها و اقیانوسها و همچنین سایر جریانهای دریایی، شکل ساحل و توپوگرافی بستر دریاها و اقیانوسها می باشد که موجب می گردد تا مولفه های جزرومدی تحت تاثیر این عوامل تشدید و یا تضعیف شوند.

سه ویژگی مهم جزرومد در هر نقطه عبارتند از: زمان جزرومد، دامنه جزرومد و نوع آن. یک هیدروگراف باید درک کاملی از این ویژگیها داشته باشد تا بتواند بخوبی تصحیحات جزرومدی را بر داده های عمق اعمال نماید.

پدیده جزرومد:

ماه هر شبانه روز یک بار از نصف النهار محل عبور می کند. این در حالیست که ماه در جهت چرخش زمین دارای چرخشی به دور زمین نیز می باشد و زمین می باید هر روز ۱.۵ درجه معادل ۵۰ دقیقه بیشتر دوران نماید تا ماه از نصف النهار همان محل عبور نماید. باید توجه داشت که به دلیل وجود سواحل و اصطکاک بستر دریاها و اقیانوسها، زمان وقوع مد کاملاً منطبق با زمان عبور ماه از نصف النهار محل نبوده و با تاخیر زمانی انجام می شود. دامنه جزرومدی بازه تغییرات ارتفاعی تراز دریا و به عبارت دیگر اختلاف تراز دریا در زمان مد از زمان جزر می باشد. این دامنه بصورت روزانه در حال تغییر بوده و صرف نظر از عوامل جوی، ناشی از موقعیت نسبی ماه و خورشید است بطوریکه ماکزیمم دامنه در زمان اسپرینگ spring و مینیمم آن در زمان نیپ neap مشاهده می شود. وجود زاویه میل استوا نسبت به صفحه اکلپتیک و همچنین زاویه صفحه دورانی ماه نسبت به اکلپتیک، رفتار و مقدار جزرومد را دچار پیچیدگی های بیشتری می کند. جزرومد در نقاط مختلف جهان بصورت روزانه (یک ماکزیمم و یک مینیمم طی یک روز)، نیم روزانه (دو ماکزیمم و دو مینیمم طی یک روز) و یا ترکیبی (دو ماکزیمم و دو مینیمم نسبی طی یک روز) روی میدهد. اگرچه مقدار جزرومد در مناطق باز اقیانوسی در حد متر می باشد ولی به دلیل اثر بستر دریا در مناطق کم عمق ساحلی و همچنین در خلیج ها و خورها تشدید شده و دامنه جزرومدی بالاتری مشاهده می شود. تراز دریا همچنین تحت تاثیر عوامل غیر جزرومدی است. در این خصوص می توان به عواملی همچون سونامی و طوفانهای دریایی، باد، فشار هوا، جریانهای دریایی و تغییرات تراز در خروجی رودخانه ها اشاره نمود. عوامل اقلیمی در آب های بسته تاثیرات شدیدتری دارند و دریاچه ها به همین دلایل مانند کمبود بارش و افزایش تبخیر، تغییرات تراز شدیدتری را تجربه میکنند.

پدیده جزرومد:



هیدروگرافها باید بتوانند اعماق اندازه گیری شده را تحت هر شرایط جزرومدی به مبنای یک سطح مبنا یا دیتوم منتقل نمایند. یک دیتوم ایده آل جزرومدی حاصل آنالیز داده های تراز دریا به مدت ۱۹ سال می باشد که طول موج بلند تغییرات جزرومدی ناشی از نوتیشن ماه را شامل می شود. دیتومی که عمق ها نسبت به آن مشاهده می شوند دیتوم عمق یابی و دیتومی که اعماق چارتهای دریایی نسبت به آن بر روی چارت درج میشوند چارت دیتوم نامیده می شود. در ایران و همچنین چارتهای انگلیسی از پایین ترین جزر نجومی LAT بر اساس پایین ترین جزر مورد انتظار طی ۱۹ سال بعنوان چارت دیتوم استفاده می کنند که از آنالیز هارمونیک مشاهدات و مولفه های هارمونیک بدست می آید.

آنالیز هارمونیک مشاهدات ارتفاع سطح دریا:

یک پیش‌بینی جزرومد را می‌توان با جمع کردن سهم نوسانی تعدادی از مؤلفه‌های جزر و مدی انجام داد. جزر و مد، که یک کمیت اسکالر (عددی) است، تنها به یک معادله پیش‌بینی نیاز دارد.

$$h(t) = H_0 + \sum_{i=1}^n c_i \cos(a_i t) + \sum_{i=1}^n s_i \sin(a_i t)$$

هر مؤلفه جزرومدی شامل سه مشخصه می‌باشد:
 ✓ فرکانس

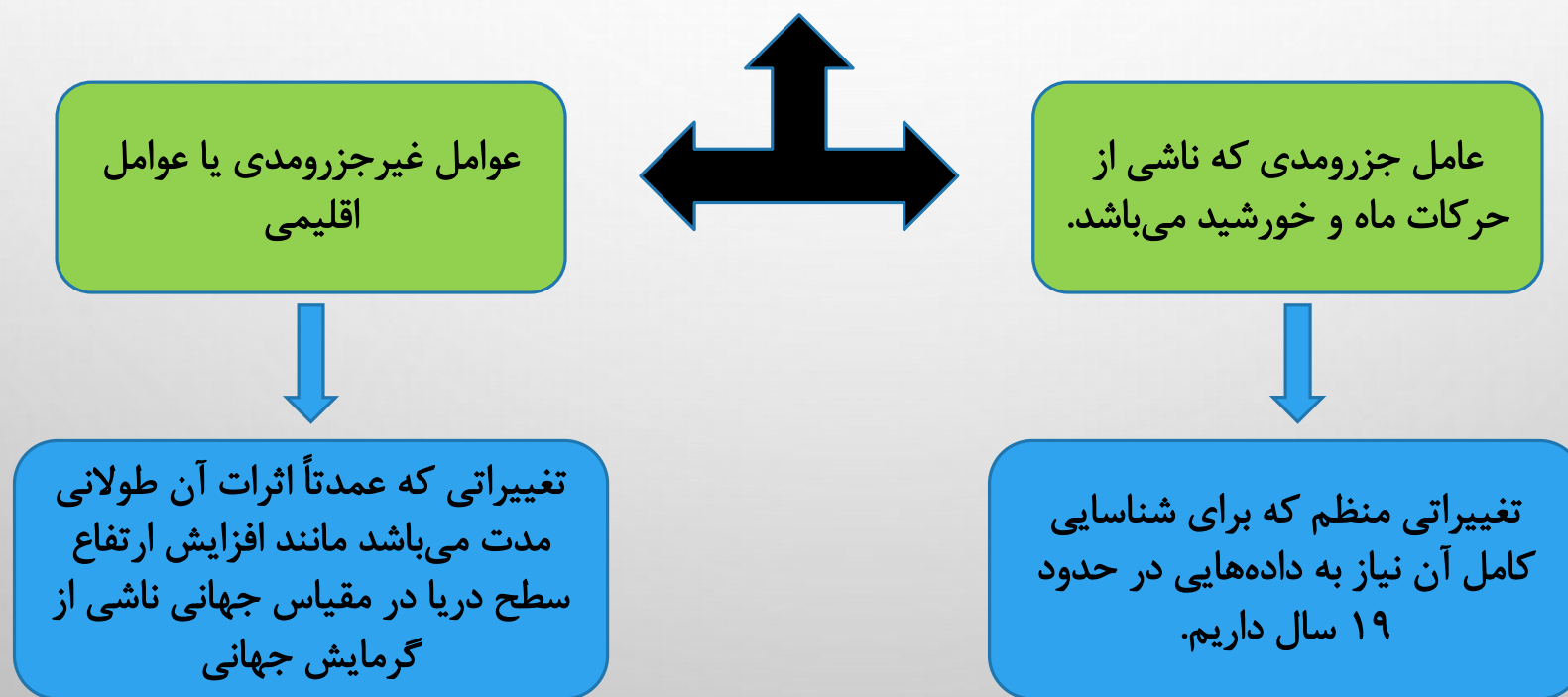
✓ دامنه $f_i H_i = (c_i^2 + s_i^2)^{\frac{1}{2}}$

✓ فاز $\{V_0 + u\} - K_i = \tan^{-1} \left(\frac{s_i}{c_i} \right)$

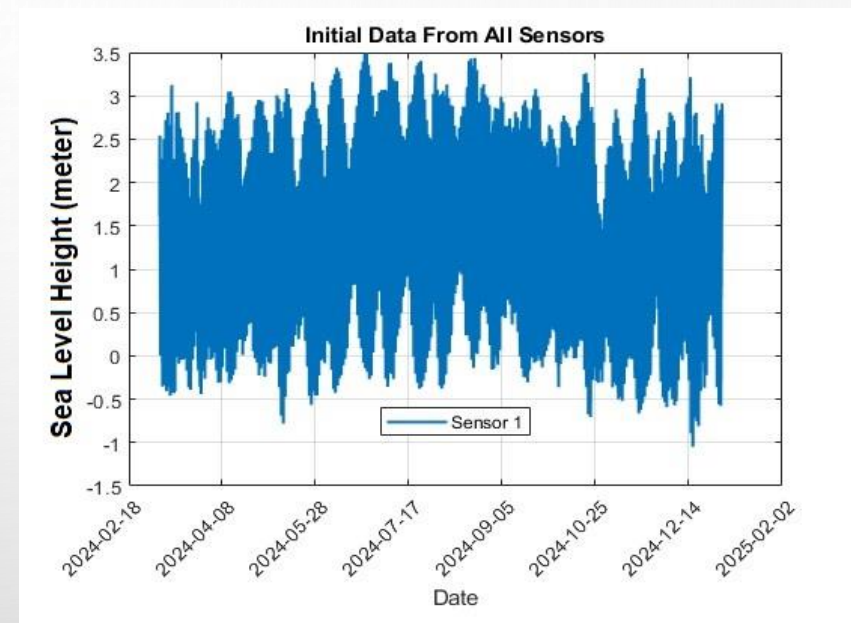
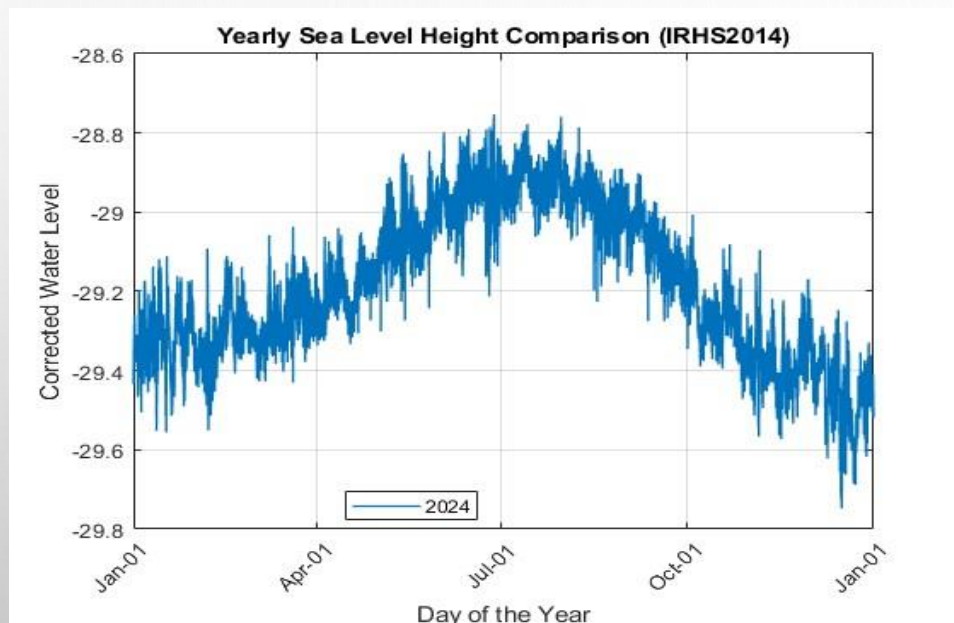
مؤلفه جزرومدی	پریود (ساعت)	مؤلفه جزرومدی	پریود (ساعت)
M ₂	12.4206	M ₃	8.2804
S ₂	12.0000	MK ₃	7.8450
N ₂	12.6583	S ₄	6.0000
K ₂	11.9672	M ₄	6.2103
K ₁	23.9345	MN ₄	6.4953
O ₁	25.8193	MS ₄	6.1033
P ₁	24.0659	M ₆	4.1402
Q ₁	26.8684	2MK ₅	4.8594
M ₁	24.8412	2SM ₂	12.0000
J ₁	23.0984	MF	13.6608
OO ₁	22.3061	MM	27.5546
2N ₂	12.9054	SA	24.0000
MU ₂	12.8720	SSA	12.0000
L ₂	12.1916	MSF	1.0986
T ₂	12.0160	MSQM	0.9146
R ₂	11.8728	MTM	27.4077
LA ₂	12.4274	ALP ₁	23.8700

تغییرات تراز دریا، دلایل و عوامل:

➤ به طور کلی تغییرات تراز دریا را می توان ناشی از دو عامل اصلی دانست.



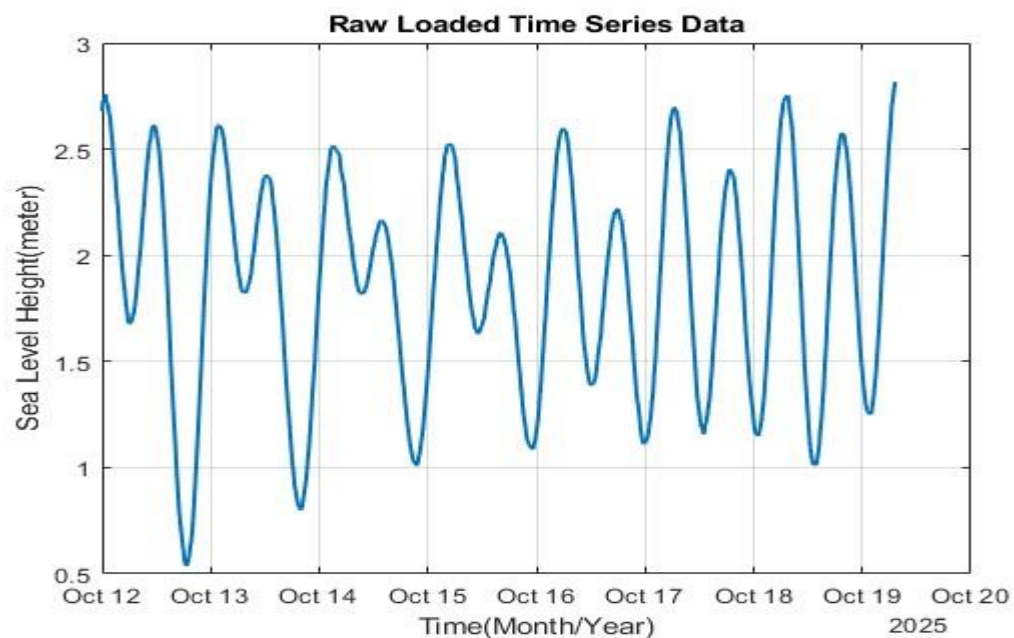
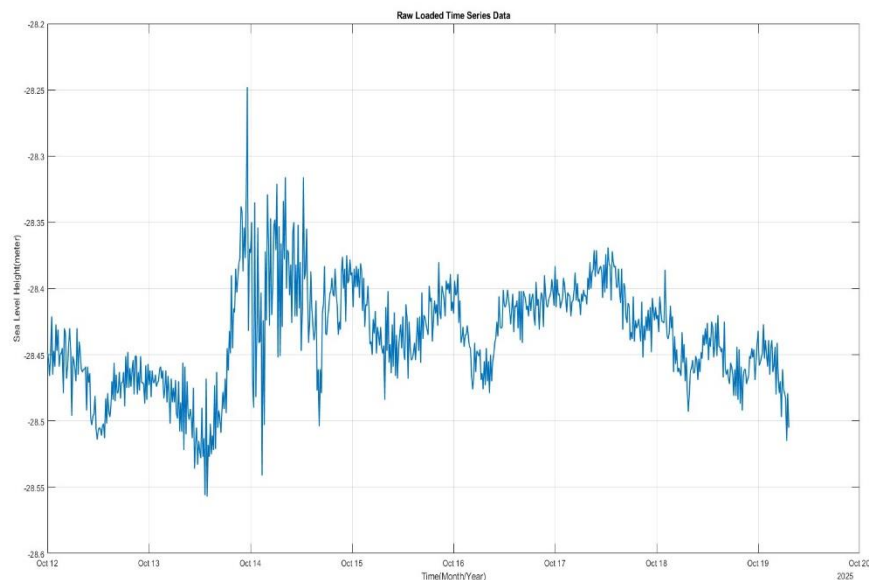
تغییرات تراز دریا، دلایل و عوامل:



داده های ایستگاه بندرامیرآباد

داده های ایستگاه بندر امام خمینی

تغییرات تراز دریا، دلایل و عوامل:



تراز آب در دریاچه خزر

جزر و مد در آب‌های خلیج فارس

انواع روش های پایش تراز دریا:

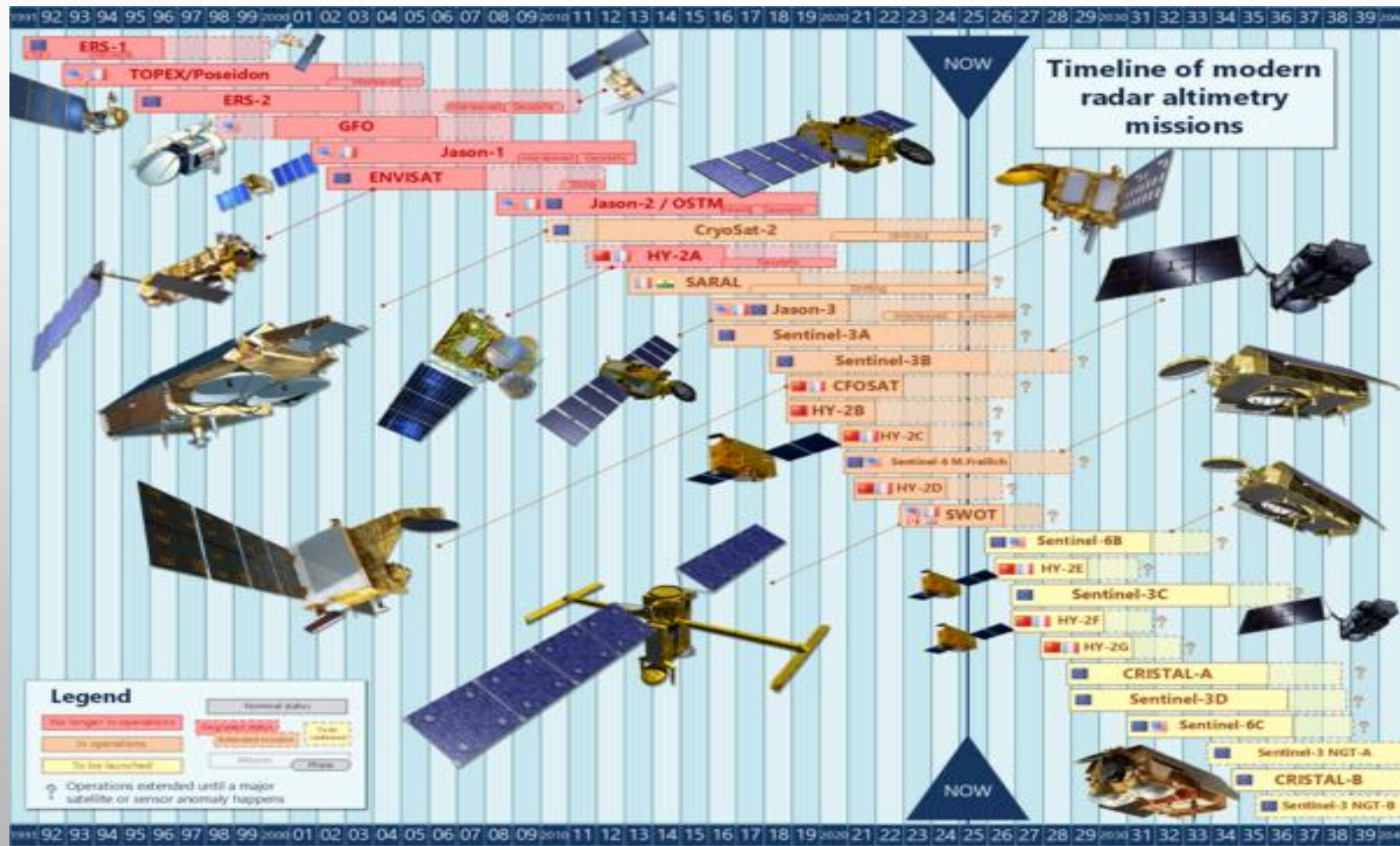
روش های مختلف پایش تراز دریا

استفاده از ارتفاع سنجی
ماهواره ای (Satellite
Altimetry)

استفاد از ایستگاههای
پایش تراز دریا ساحلی
(تایدگیج ها)



سازمان برنامه و بودجه کشور
سازمان نقشه برداری کشور



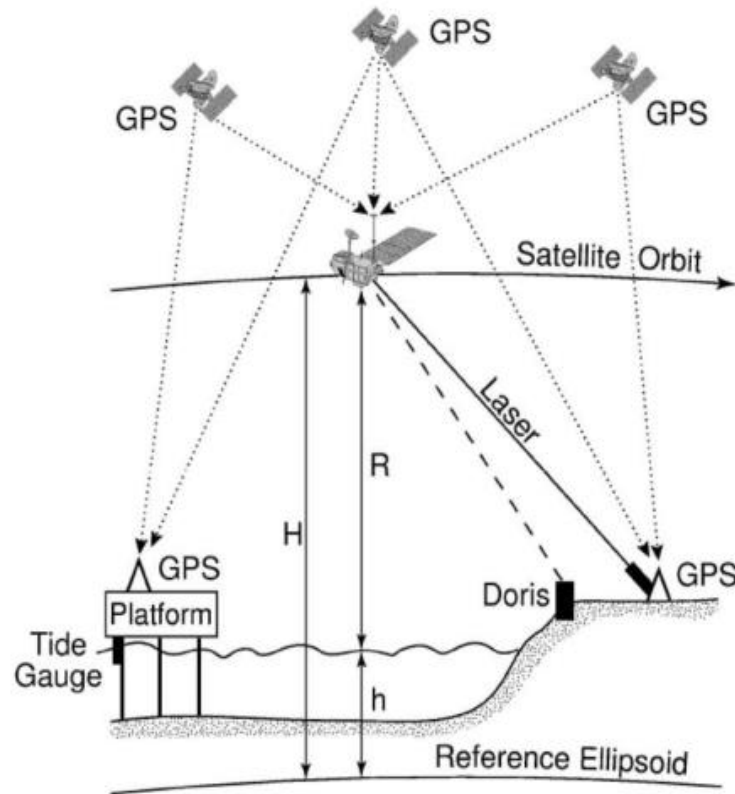
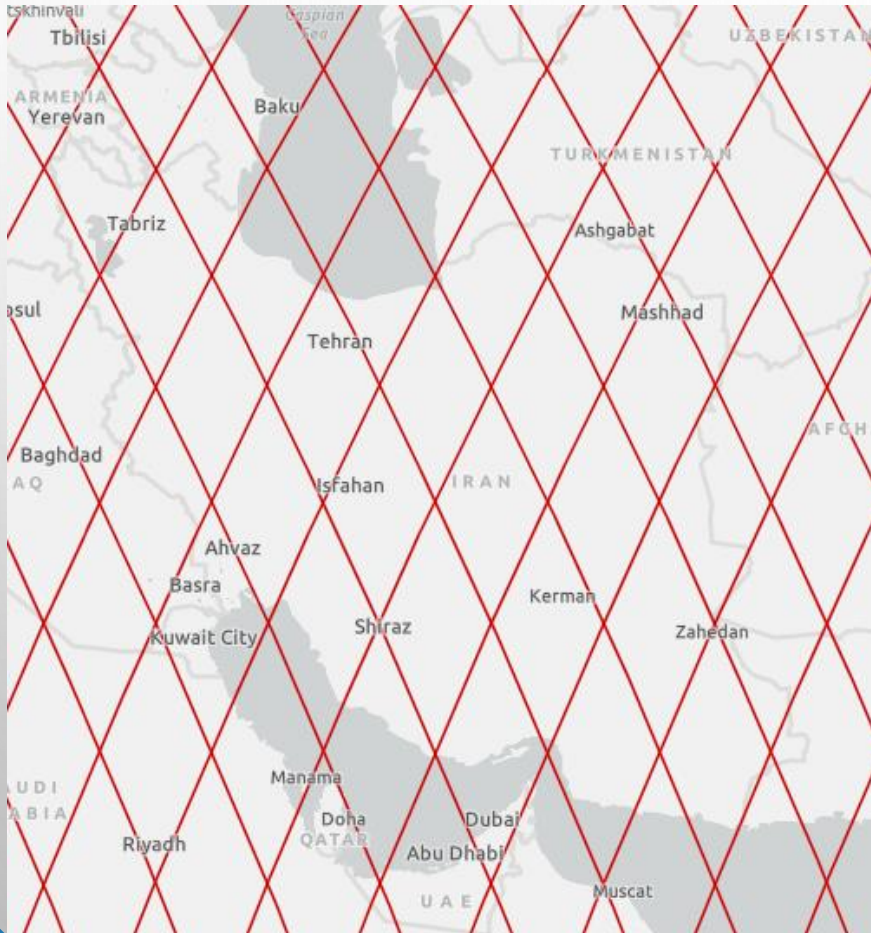
مأموریت‌های ارتفاع‌سنجی
در گذر زمان:

 سازمان برنامه و بودجه کشور
سازمان نقشه برداری کشور

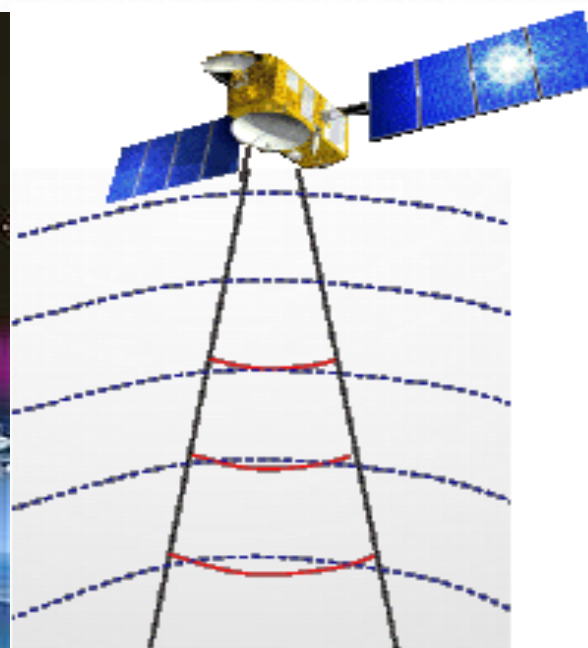
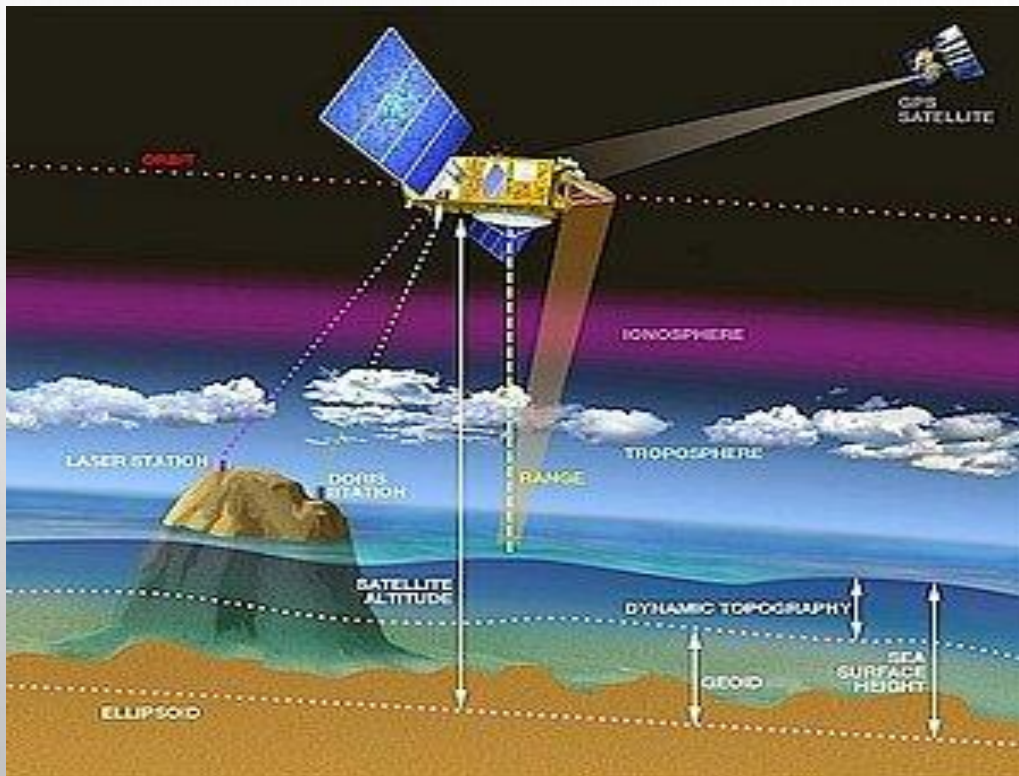


مأموریت‌های ارتفاع‌سنجی:

مأموریت پارامترها	توپکس پوزیدون	جیسون ۱	جیسون ۲	جیسون ۳
تاریخ پرتاب	۱۰ آگوست ۱۹۹۲	۷ دسامبر ۲۰۰۱	۲۰ ژوئن ۲۰۰۸	۱۷ ژانویه ۲۰۱۶
اتمام مأموریت	۱۸ ژانویه ۲۰۰۶	۱ جولای ۲۰۱۳	۱۰ اکتبر ۲۰۱۹	---
ارتفاع مداری (Km)	۱۳۳۶	۱۳۳۶	۱۳۳۶	۱۳۳۶
نیم قطر اطول (Km)	۷۷۱۴/۴۲۷۸	۷۷۱۴/۴۲۷۸	۷۷۱۴/۴۲۷۸	۷۷۱۴/۴۲۷۸
زاویه میل (Degree)	۶۶/۰۳۹	۶۶/۰۳۹	۶۶/۰۳۹	۶۶/۰۳۹
خروج از مرکزیت	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۰۹۵
آرگومان پریجی (Deg)	۲۷۰/۸۲۶۸	۲۷۰/۸۲۶۸	۲۷۰/۸۲۶۸	۲۷۰/۸۲۶۸
پریود حرکت (Days)	۹/۹۱۵۶	۹/۹۱۵۶	۹/۹۱۵۶	۹/۹۱۵۶
تعداد گذر	۲۵۴	۲۵۴	۲۵۴	۲۵۴
سرعت مداری (Km/s)	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲
سرعت برداشت زمینی (Km/s)	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸
نام ارتفاع سنج	توپکس و پوزیدون ۱	پوزیدون ۲	پوزیدون ۳	پوزیدون 3B
فرکانس‌ها	Ku 13.65Ghz و C 5.3GHz	Ku 13.65GHz و C 5.3 GHz	Ku 13.65GHz و C 5.3 GHz	Ku 13.65GHz و C 5.3 GHz
فرکانس تکرار پالس (Hz)	۱۷۱۸	۲۰۶۰	۲۰۶۰	۲۰۶۰
مدت زمان پالس (Ms)	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵
عرض باند (MHz)	۳۲۰	۳۲۰	۳۲۰	۳۲۰
قطر آنتن (M)	۱/۵	۱/۲	۱/۲	۱/۲
عرض بیم آنتن (Degree)	۱/۱	(Ku) ۱/۲ و (C) ۳/۴	(Ku) ۱/۲ و (C) ۳/۴	(Ku) ۱/۲ و (C) ۳/۴
تاریخ تغییر مدار	۱۵ سپتامبر ۲۰۰۲	۱۵ فوریه ۲۰۰۹	۱۰ اکتبر ۲۰۱۶	---



مبانی ارتفاع سنجی ماهواره‌ای:



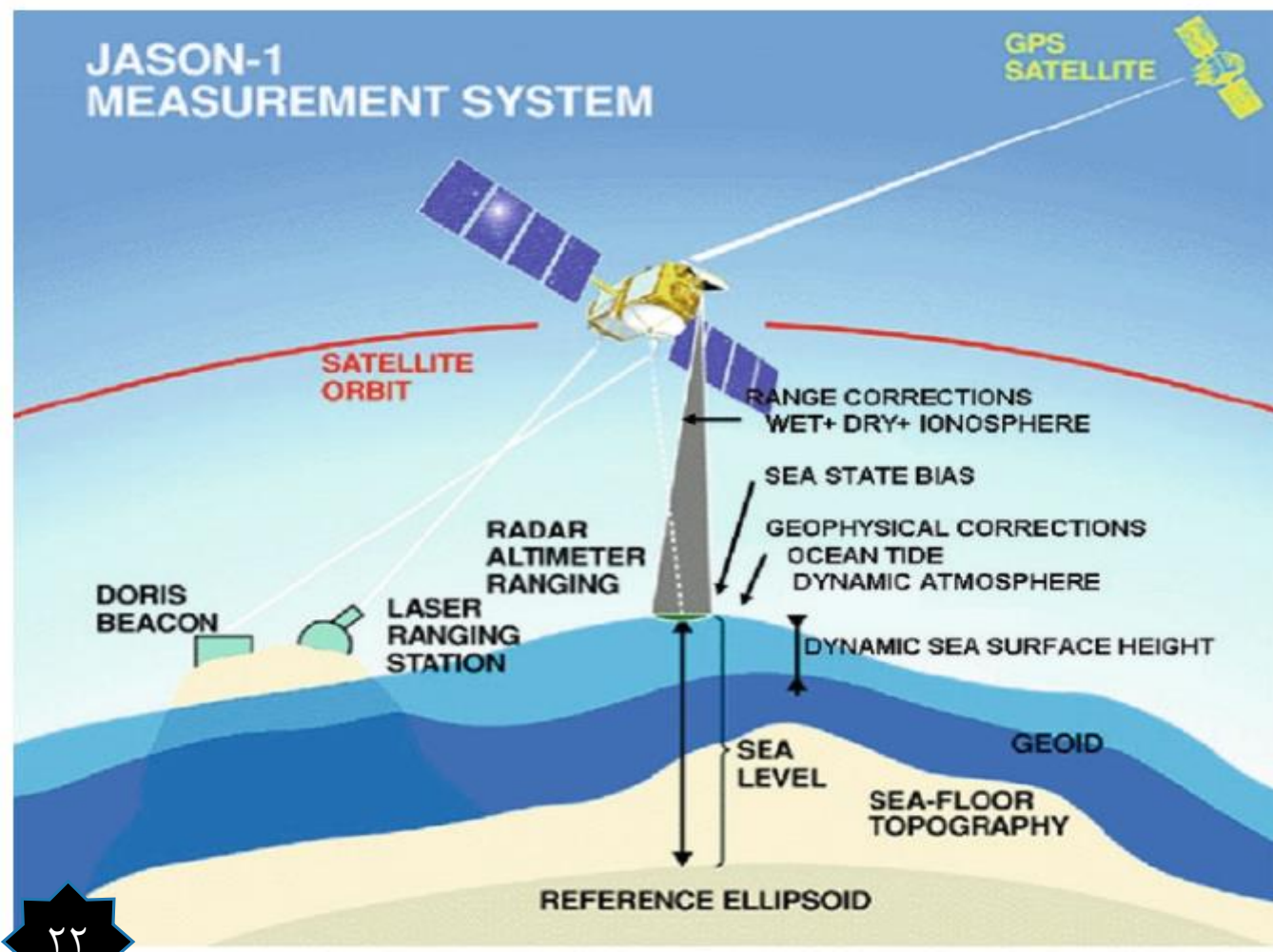
$$R = C \frac{\Delta t}{2}$$

$$C \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

مبانی ارتفاع سنجی ماهواره‌ای:

ارتفاع سنجی ماهواره‌ای به لحاظ مفهومی عبارت است از ارسال یک پالس کوتاه در باند مایکروویو امواج الکترومغناطیس با یک توان مشخص به سمت دریا، جایی که این پالس ارسالی پس از برخورد با سطح دریا بخشی از سیگنال آن توسط سطح آب منعکس شده و توسط ارتفاع سنج موجود بر روی ماهواره دریافت میشود و زمان رفت و برگشت این سیگنال به عنوان نخستین مشاهده ارتفاع سنجی محاسبه میگردد. در اصطلاح میتوان عبارت ارتفاع سنجی راداری را به عنوان مفهومی کلی به کار برد. زیرا آنچه که به تولید امواج در باند مایکروویو میپردازد رادار میباشد.

ارتفاع سنجی ماهواره‌ای بر اساس اندازه گیری زمان رفت و برگشت سیگنال ارسالی از ماهواره و برخورد آن با سطح و سپس بازگشت سیگنال به ماهواره و دریافت آن توسط آنتن ماهواره استوار است. این زمان با استفاده از مقیاس سرعت نور که همان سرعت امواج الکترومغناطیس میباشد به فاصله بین ماهواره تا سطح آب یا **Range** تبدیل میشود.



مبانی ارتفاع سنجی ماهواره‌ای:

$$h = H - R_{\text{corrected}} = H - (R_{\text{obs}} - \Delta R_{\text{dry}} - \Delta R_{\text{wet}} - \Delta R_{\text{iono}} - \Delta R_{\text{ssb}})$$

$$h_D = H - R_{\text{obs}} - \Delta h_{\text{dry}} - \Delta h_{\text{wet}} - \Delta h_{\text{iono}} - \Delta h_{\text{ssb}} - h_{\text{tides}} - h_{\text{atm}} - h_{\text{geoid}}$$

تصحیحات ژئوفیزیکی

تصحیحات اتمسفری

- اثرات جزرومدی
- اثرات فشار اتمسفری
- اثر ژئوئید

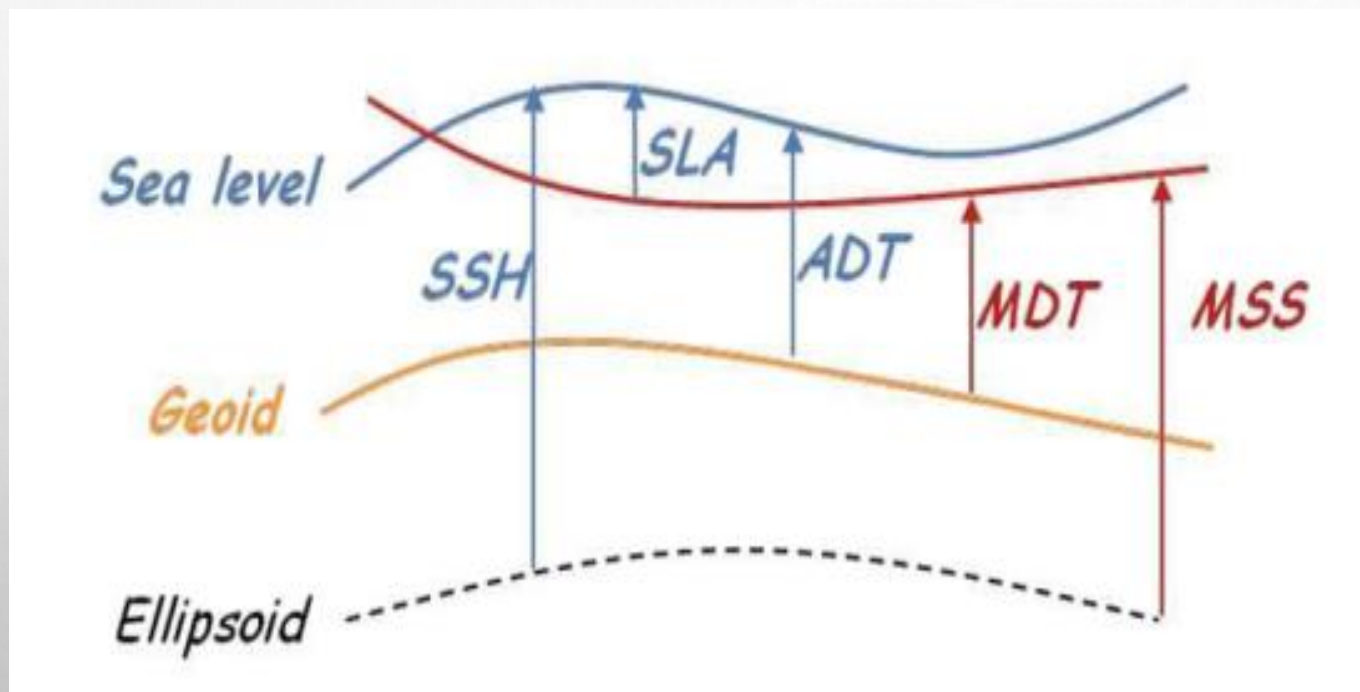
- اثرات یونسفری
- اثرات تروپوسفری
- اثر بایاس سطح دریا

تغییرات دینامیکی دریا:

برخلاف تصور ما از یک سطح آب آرام، سطح اقیانوس جهانی دارای "تپه‌ها" و "دره‌ها"ی دائمی و موقتی است. این پستی و بلندی‌ها که می‌توانند تا حدود دو متر اختلاف ارتفاع داشته باشند، نتیجه مستقیم حرکت و دینامیک آب هستند. به مجموعه این تغییرات و ناهمواری‌ها، "تغییرات دینامیکی دریا" می‌گویند.



تغییرات دینامیکی دریا:



$$SLA = SSH - MSL(MSS)$$

$$ADT = SSH - \text{Geoid}$$

$$MDT = MSL - \text{Geoid}$$

توپوگرافی دینامیکی مطلق و میانگین:

توپوگرافی دینامیکی اساساً نقشه پستی و بلندی‌های سطح اقیانوس است که به دلیل حرکت آب ایجاد شده است. برای درک آن، ابتدا باید سطح مرجع را بشناسیم:

تصور کنید زمین کاملاً پوشیده از آب بود و هیچ جریان، باد یا جزرومدی وجود نداشت. در این حالت، آب تحت تأثیر نیروی گرانش، یک سطح هم‌پتانسیل را تشکیل می‌داد که به آن ژئوئید می‌گویند. ژئوئید نماینده یک اقیانوس کاملاً ساکن است.

توپوگرافی دینامیکی برابر است با اختلاف ارتفاع سطح واقعی و لحظه‌ای دریا از ژئوئید.

بنابراین، هر کجا که سطح دریا بالاتر از ژئوئید باشد (یک "تپه" آبی)، نشان‌دهنده تجمع آب و یک سیستم کم فشار است و هر کجا پایین‌تر باشد (یک "دره" آبی)، نشان‌دهنده یک سیستم پرفشار است. شیب همین توپوگرافی دینامیکی، نیروی اصلی محرکه جریان‌های ژئواستروفیک است؛ درست همان‌طور که آب روی یک سطح شیب‌دار زمینی به حرکت در می‌آید.

آنومالی سطح دریا:

محاسبه دقیق ژئوئید در سراسر جهان کار بسیار پیچیده‌ای است. به همین دلیل، اقیانوس‌شناسان اغلب از یک کمیت دیگر به نام آنامولی سطح دریا برای مطالعه تغییرات متغیر با زمان استفاده میکنند.

SLA به ما می‌گوید که سطح آب در یک لحظه خاص، چقدر از میانگین همیشگی خود بالاتر یا پایین‌تر است. این کمیت برای شناسایی پدیده‌های گذرا و متغیر مانند موارد زیر فوق‌العاده است:

- ✓ گرداب‌ها (گرداب‌های آب گرم معمولاً به صورت یک تپه (SLA مثبت) و گرداب‌های آب سرد به صورت یک دره (SLA منفی) ظاهر می‌شوند.
- ✓ نوسانات فصلی: تغییرات فصلی در دما و جریان آب، خود را در مقادیر SLA نشان می‌دهند. امواج بزرگ مقیاس مانند امواج کلونین و راسبی.

➤ چون استخراج جریان‌های لحظه‌ای مد نظر است و مدل دقیقی از ژئوئید خزر در دسترس نیست، از SLA برای محاسبه جریانات ژئواستروفیک استفاده می‌شود که برای مطالعه تغییرات دینامیکی، ابزار بسیار مناسبی است.

جریان های دریایی:

جریان های دریایی به حرکت افقی و مداوم توده های عظیم آب در اقیانوس ها و دریاها گفته می شود. این جریان ها مانند «رودخانه هایی» هستند که در میان اقیانوس جاری شده و آب گرم را از مناطق استوایی به سمت قطب ها و آب سرد را از قطب ها به سمت مناطق استوایی انتقال می دهند. این پدیده نقش کلیدی در توزیع گرما، تنظیم آب و هوا و توزیع مواد مغذی در کره زمین ایفا می کند.

مطالعات اخیر نشان می دهد، میان اثرات آب و هوایی بلندمدت و کوتاه مدت با جریان دریایی ارتباط قابل توجهی برقرار است. همچنین اقیانوسها از عوامل پراهمیت و تأثیرگذار بر اقلیم جهان در مقیاس بلندمدت هستند. بعلاوه در مقیاسهای زمانی کوتاهتر، مثلاً بین ۴ تا ۷ سال، پدیده هایی مثل چرخه النینو اثر مهمی روی آب و هوا و اقلیم کره زمین داشته است. جریانهای دریایی و اقیانوسی نقش زیادی در انتقال انرژی و در نتیجه توزیع دمایی دارند. لیکن بر اقلیم مناطق اثر میگذارند. امروزه با افزایش تولید گازهای گلخانه ای و گرم شدن جهانی زمین برهمکنش میان جریانات و اقلیم به طور خاص مورد توجه محققان قرار گرفته است. مطالعات فراوانی پیرامون اینکه چگونه گرم شدن آب و هوا ممکن است گردش اقیانوسها را متأثر سازد و این امر تا چه حد میتواند اقلیم جهان را تحت تأثیر قرار دهد صورت گرفته است. برخی استدلال کرده اند که این گرم شدن میتواند حرکت آبهای گرم به سمت قطب را متوقف سازد، که این امر انجماد اروپا را به دنبال دارد.

جریان‌های دریایی:

جریان‌ات دریایی را میتوان به سه دسته کلی تقسیم کرد:

- جریان دائمی سطحی که جریان‌ات میانگین‌گیری شده در زمان هستند،
- جریان لحظه‌ای میانگین‌گیری شده در عمق یا جریان سطحی (جریان دو بعدی) و
- جریان لحظه‌ای متغیر در لایه‌های عمقی (جریان سه بعدی).

جریان‌ات دریایی ناشی از عوامل ایجادکننده آنها:

جریان دریایی به زبان ساده، حرکت مداوم و جهت‌دار آب دریاست؛ مانند رودخانه‌های عظیمی که درون اقیانوس‌ها و دریاها در جریان هستند. این حرکات نقش حیاتی در تنظیم آب و هوای کره زمین، توزیع گرما و مواد غذایی، و حیات اکوسیستم‌های دریایی ایفا می‌کنند. جریان‌های دریایی بر اساس نیروی محرک اصلی‌شان به چند دسته اصلی تقسیم می‌شوند:



جریانات دریایی ناشی از عوامل ایجادکننده آنها:

۱. **جریانات ناشی از باد:** این جریان ها، که عمدتاً جریانات سطحی را تشکیل می دهند، در لایه های بالایی آب (تا عمق چند صد متر) رخ می دهند و نیروی اصلی محرکه شان تنش ناشی از وزش باد بر سطح دریاست.

➤ جریان اکمن وقتی باد بر سطح آب می وزد، به دلیل چرخش زمین (نیروی کوریولیس)، آب سطحی مستقیماً در جهت باد حرکت نمی کند، بلکه در نیمکره شمالی به سمت راست و در نیمکره جنوبی به سمت چپ منحرف می شود. این پدیده اساس جریان های ناشی از باد را تشکیل می دهد.

۲. **جریانات ژئواستروفیک:** این جریان ها بخش عمده ای از گردش های بزرگ مقیاس اقیانوسی را تشکیل می دهند و زمانی به وجود می آیند که تعادلی بین دو نیروی اصلی برقرار شود:

✓ نیروی گرادیان فشار: ناشی از شیب سطح دریا (توپوگرافی دینامیکی) است. آب تمایل دارد از مناطق پرفشار ("تپه های" آبی) به سمت مناطق کم فشار ("دره های" آبی) حرکت کند.

✓ نیروی کوریولیس: ناشی از چرخش زمین است که مسیر حرکت آب را منحرف می کند. جریان ژئواستروفیک در راستای خطوط هم فشار (موازی با شیب سطح دریا) حرکت می کند و یک تعادل پایدار را شکل می دهد.

جریانات دریایی ناشی از عوامل ایجادکننده آنها:

۳. **جریانات ترموهالاین:** این جریان ها که به آن ها جریانات عمقی یا گردش واژگونی نیز می گویند، موتور محرکه اصلی شان اختلاف چگالی آب است. **Thermo** به معنای دما و **Haline** به معنای شوری است. آب سرد و آب شور، چگالی بیشتری نسبت به آب گرم و شیرین دارند. در مناطق قطبی، آب سطحی با سرد شدن و یخ زدن (که باعث افزایش شوری آب باقی مانده می شود)، بسیار چگال شده و به اعماق اقیانوس فرو می رود. این آب سرد و چگال در کف اقیانوس ها یک جریان جهانی بسیار کند اما عظیم را به راه می اندازد که به آن نوار نقاله بزرگ اقیانوسی نیز می گویند و نقش حیاتی در انتقال گرما از استوا به قطبین دارد.

۴. **جریانات جزرومدی:** این جریان ها در اثر نیروی گرانشی ماه و خورشید ایجاد می شوند و باعث بالا و پایین رفتن تناوبی سطح آب (جزر و مد) می شوند. این جریانات افقی، به ویژه در مناطق ساحلی، خلیج ها و تنگه های باریک (مانند تنگه هرمز)، می توانند بسیار شدید باشند.

داده های اثرگذار بر جریانات دریایی

داده های اثرگذار بر جریان های دریایی به مجموعه نیروهای فیزیکی و پارامترهای محیطی اطلاق می شود که حرکت آب در دریاها و اقیانوس ها را ایجاد، هدایت و اصلاح می کنند. برای درک و مدلسازی دقیق جریان ها، ما باید این عوامل را به صورت داده های قابل اندازه گیری به مدل های خود وارد کنیم.

می توانیم آن ها را به دو گروه اصلی تقسیم کنیم: **نیروهای محرکه اصلی** و **پارامترهای محیطی و داده های مربوطه** نیروهای محرکه اصلی اینها نیروهای بنیادین فیزیکی هستند که آب را به حرکت درمی آورند:

۱. **باد (تنش اتمسفری)** باد با اعمال تنش برشی بر سطح آب، انرژی خود را به لایه های سطحی منتقل کرده و آن ها را به حرکت در می آورد. این عامل، مهم ترین نیروی محرکه برای جریانات سطحی در سراسر جهان است. در دریای خزر و دریای عمان، باد غالب شمال غربی (باد شمال) نقش مهمی در شکل گیری گرداب های فصلی و جریان های ساحلی دارد. در دریای خزر، به دلیل بسته بودن حوضه، باد عامل اصلی شکل دهنده جریانات است، به خصوص در بخش های کم عمق شمالی. جریان های سطحی قوی ناشی از طوفان های بادی، عامل اصلی ایجاد جریان های قوی در عمق آب هستند.

۲. **گرادیان چگالی (نیروی ترموهالین)** آب با چگالی های متفاوت تمایل دارد به گونه ای جابجا شود که به تعادل برسد؛ آب سنگین تر (سردتر و شورتر) به زیر آب سبک تر (گرم تر و شیرین تر) فرو می رود. این اختلاف چگالی، موتور اصلی جریان های عمقی و ترموهالین است. در دریای خزر، سرد شدن و یخ زدگی آب در زمستان در بخش شمالی باعث افزایش شوری و چگالی آب می شود. این آب چگال به اعماق فرو رفته و یک جریان عمقی مهم را به سمت جنوب به راه می اندازد.

۳. **گرادیان فشار (نیروی ژئواستروفیک)** پستی و بلندی های سطح دریا (توپوگرافی دینامیکی) باعث ایجاد اختلاف فشار افقی در آب می شود. آب تمایل دارد از منطقه پرفشار (جایی که سطح آب بالاتر است) به سمت منطقه کم فشار (جایی که سطح آب پایین تر است) حرکت کند. این نیرو در تعادل با نیروی کوریولیس، جریانات ژئواستروفیک را ایجاد می کند که بخش بزرگی از گردش های اقیانوسی را تشکیل می دهند.

۴. **نیروهای جزرومدی** نیروی گرانشی ماه و خورشید باعث ایجاد جریانات تناوبی جزرومدی می شود. اگرچه انرژی این جریان ها بسیار زیاد است، اما تأثیر آن ها بر گردش کلی و باقی مانده در پهنه های آبی بزرگ معمولاً کم است. با این حال، در مناطق خاصی مانند تنگه ها (مثل تنگه هرمز) و سواحل، این جریان ها می توانند جریان غالب باشند.

داده های اثرگذار بر جریانات دریایی پارامترهای محیطی و داده های مربوطه:

این ها داده های مشخصی هستند که ما برای کمی سازی نیروهای فوق و اجرای مدل های عددی از آن ها استفاده می کنیم:

- داده های باد: شامل سرعت و جهت باد که از مدل های هواشناسی جهانی مانند ECMWF یا ماهواره ها به دست می آیند.
- داده های دما و شوری: برای محاسبه چگالی و مدل سازی جریان های ترموهاالاین حیاتی هستند. مانند دمای سطح آب از تصاویر حرارتی ماهواره ای.
- پروفایل های دما و شوری در عمق: از مشاهدات میدانی (کشتی ها، بویه های آرگو) یا مدل های اقیانوسی جهانی.
- داده های ارتفاع سنجی ماهواره ای: برای محاسبه توپوگرافی دینامیکی و آنامولی تراز دریا که ورودی اصلی برای محاسبه جریانات ژئواستروفیک هستند.
- توپوگرافی بستر دریا عمق و شکل بستر دریا: مسیر جریان ها را (به ویژه در عمق) هدایت می کند و نقش مهمی در پدیده هایی مانند بالآمدگی دارد.
- داده های ورودی آب شیرین: دبی رودخانه ها (مانند ولگا و اروند) که شوری و چگالی آب های ساحلی را به شدت تحت تأثیر قرار می دهند.
- داده های تبخیر و بارش: این دو عامل نیز بر بیلان آب شیرین و در نتیجه شوری سطحی تأثیر می گذارند و در مدل سازی های دقیق اقلیمی لحاظ می شوند. در نهایت، درک و مدلسازی جریان های دریایی نیازمند تلفیق هوشمندانه تمام این داده ها در یک چارچوب فیزیکی یا عددی است تا بتوان تعامل پیچیده بین این نیروها و پارامترها را به درستی شبیه سازی کرد.

مدلسازی جریانات دریایی:



مدلسازی جریانات دریایی:

مدلسازی عددی هیدرودینامیکی رایج ترین رویکرد است که با استفاده از نرم افزارهای قدرتمند، معادلات فیزیکی بنیادین حاکم بر حرکت سیالات را حل می کند.

این روش معادلات ناویر-استوکس را که حرکت سیالات را توصیف می کنند، تحت مجموعه ای از فرضیات خاص مانند تقریب بوسینسک و فشار هیدرواستاتیک حل می کند. در این روش، دریا به صورت شبکه ای از سلول های به هم پیوسته در نظر گرفته می شود و مدل محاسبه می کند که چگونه آب بر اساس نیروهای اعمال شده در طول زمان بین این سلول ها حرکت می کند.

➤ مدل های مورد استفاده:

مجموعه نرم افزاری MIKE مانند MIKE21 برای مدل سازی دو بعدی

MIKE3 برای مدل سازی سه بعدی

مدل های دیگری مانند POM مدل اقیانوسی پرینستون و HYCOM

➤ نیازمندی های داده ای: این مدل ها به داده های زیادی نیاز دارند.

✓ شرایط مرزی: اطلاعاتی در مورد آنچه در لبه های منطقه مدل سازی رخ می دهد، مانند تراز سطح آب در مرزهای باز (مثل تنگه هرمز) و ورودی آب رودخانه ها.

✓ داده های واداشت: نیروهای خارجی که جریان ها را به حرکت در می آورند، عمدتاً سرعت و جهت باد، و همچنین فشار اتمسفر، تبادل حرارتی، تبخیر و بارش.

✓ عمق سنجی: نقشه دقیق بستر دریا، زیرا شکل آن جریان ها را هدایت می کند.

واسنجی یا کالیبراسیون که یک مرحله حیاتی است و در آن پارامترهای مدل مانند مقاومت بستر (اصطکاک با کف دریا) و ویسکوزیته گردابی تنظیم می شوند تا زمانی که خروجی مدل با اندازه گیری های واقعی از ابزارهایی مانند جریان سنج ADCP تطابق نزدیک پیدا کند.

مدلسازی جریانات دریایی:

روش‌های مبتنی بر مشاهدات ماهواره‌ای:

این تکنیک‌ها اطلاعات جریان را مستقیماً از داده‌های ماهواره‌ای استخراج می‌کنند و اغلب نیازی به شبیه‌سازی‌های پیچیده هیدرودینامیکی ندارند.

➤ **جریانات ژئوستروفیک از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای:** این یک روش قدرتمند است که در چندین پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. اصول این روش بر اساس تعادل ژئوستروفیک است؛ حالتی که در آن نیروی ناشی از شیب سطح دریا (گرادیان فشار) با نیروی کوریولیس (ناشی از چرخش زمین) به تعادل می‌رسد.

✓ نحوه کار: ماهواره‌های ارتفاع سنج، ارتفاع سطح آب دریا SSH را با دقت سانتی‌متری اندازه‌گیری می‌کنند. با کم کردن یک سطح مرجع به نام ژئوئید از SSH، توپوگرافی دینامیکی مطلق ADT به دست می‌آید. ADT در واقع نقشه‌ای از تپه‌ها و دره‌های روی سطح اقیانوس است. شیب این نقشه سپس در معادلات ژئوستروفیک استفاده می‌شود تا سرعت جریان‌های سطحی مستقیماً محاسبه شود.

✓ نیازمندی‌های داده‌ای: این روش به داده‌های دقیق SSH از مأموریت‌های ارتفاع سنجی و یک مدل دقیق از توپوگرافی دینامیکی متوسط MDT یا ژئوئید نیاز دارد.

➤ **جریان نوری Optical Flow از تصاویر حرارتی:** این یک روش نوآورانه است که از دنباله‌ای از تصاویر برای ردیابی حرکت استفاده می‌کند، شبیه به نحوه کار فشرده‌سازی ویدیو.

✓ اصول: این روش فرض می‌کند که الگوهای دمای سطح آب SST توسط جریان‌های سطحی حمل می‌شوند.

✓ نحوه کار: با استفاده از دو تصویر حرارتی متوالی ماهواره‌ای، الگوریتم‌هایی مانند روش هرن و شونک می‌توانند یک میدان برداری محاسبه کنند که نشان می‌دهد الگوهای دمایی چگونه جابجا شده‌اند. این میدان برداری، نماینده جریان سطحی دریا است.

✓ کاربرد: این روش به ویژه برای مشاهده پدیده‌هایی مانند گرداب‌ها و بالآمدگی، بسیار مؤثر است.

مدلسازی جریان‌ات دریایی:

رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی

این روش‌های مدرن، نقاط قوت مدل‌های فیزیکی و داده‌های مشاهداتی را با هم ترکیب می‌کنند.

✓ مدل‌های جعبه سیاه (هوش مصنوعی): این رویکرد از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای یافتن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها بدون حل صریح معادلات فیزیکی استفاده می‌کند.

اصول: یک مدل هوش مصنوعی، مانند شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، بر روی مجموعه داده بزرگی از ورودی‌های محیطی (باد، دما، SLA و غیره) و جریان‌های مشاهده‌شده متناظر آموزش داده می‌شود. مدل، روابط پیچیده و غیرخطی بین آنها را یاد می‌گیرد. کاربرد: پس از آموزش، مدل می‌تواند جریان‌ها را بر اساس داده‌های ورودی جدید پیش‌بینی کند، که اغلب بسیار سریع‌تر از مدل‌های عددی سنتی است.

✓ مدل‌های جعبه خاکستری (داده‌گواری): این یک رویکرد ترکیبی است که با تلفیق مشاهدات واقعی، دقت مدل‌های عددی را بهبود می‌بخشد. اصول: این رویکرد می‌پذیرد که مدل‌های عددی دارای خطا و عدم قطعیت هستند.

داده‌گواری Data Assimilation فرآیندی است که طی آن با وارد کردن داده‌های مشاهداتی به مدل در حین اجرا، حالت مدل به طور سیستماتیک به سمت واقعیت "هدایت" می‌شود.

نحوه کار: یک "تابع هزینه" برای اندازه‌گیری اختلاف بین خروجی مدل و مشاهدات (از ارتفاع سنجی، تایدگیج و غیره) تعریف می‌شود. سپس الگوریتم‌های بهینه‌سازی، پارامترها یا شرایط اولیه مدل را برای به حداقل رساندن این اختلاف تنظیم می‌کنند و در نتیجه شبیه‌سازی با واقعیت سازگارتر می‌شود.

نقش ارتفاع سنجی ماهواره ای در استخراج جریانات دریایی:

نقش ارتفاع سنجی ماهواره ای در استخراج جریان های دریایی بنیادی و انقلابی است. این فناوری به ما اجازه می دهد تا برای اولین بار، تصویری جهانی و پیوسته از جریان های سطحی بزرگ مقیاس اقیانوس ها را ترسیم کنیم؛ کاری که پیش از آن غیرممکن بود. اساس کار این تکنیک، اندازه گیری دقیق پستی و بلندی های سطح دریا و استفاده از آن در معادلات فیزیکی پایه است. در ادامه، مراحل این فرآیند به تفصیل شرح داده می شود.

۱. **اندازه گیری ارتفاع سطح دریا:** هسته اصلی این روش، اندازه گیری دقیق ارتفاع سطح دریا است. ماهواره های ارتفاع سنج با ارسال پالس های راداری به سطح اقیانوس و محاسبه زمان رفت و برگشت آن ها، فاصله خود تا سطح آب را با دقت سانتی متری اندازه گیری می کنند. از آنجایی که موقعیت ماهواره در فضا نسبت به یک بیضوی مرجع زمینی با دقت بسیار بالایی مشخص است، ارتفاع سطح لحظه ای آب نسبت به این بیضوی مرجع محاسبه می شود.

۲. **محاسبه توپوگرافی دینامیکی (نقشه پستی و بلندی های سطح دریا):** سطح دریا کاملاً صاف نیست و به دلیل حرکت آب، دارای "تپه ها" و "دره ها"یی است که به آن توپوگرافی دینامیکی می گویند. برای به دست آوردن این توپوگرافی که عامل اصلی جریان است، باید اثر میدان گرانش زمین را حذف کنیم. ژئوئید سطحی هم پتانسیل از میدان گرانش زمین است که اگر آب های اقیانوس کاملاً ساکن بودند، سطح دریا بر آن منطبق می شد. توپوگرافی دینامیکی مطلق این کمیت از تفاضل ارتفاع سطح لحظه ای دریا و ارتفاع ژئوئید به دست می آید:

$ADT = SSH - \text{Geoid}$ این ADT، همان نقشه پستی و بلندی های سطح دریاست که صرفاً به دلیل دینامیک و حرکت آب ایجاد شده است.

۳. **استخراج جریان ژئواستروفتیک از شیب سطح دریا:** مهم ترین نوع جریانی که با این روش استخراج می شود، جریان ژئواستروفتیک است. این جریان زمانی شکل می گیرد که تعادلی بین دو نیرو برقرار شود:

نیروی گرادیان فشار: ناشی از شیب توپوگرافی دینامیکی است. آب به طور طبیعی تمایل دارد از مناطق با ارتفاع بیشتر (فشار بالا) به سمت مناطق با ارتفاع کمتر (فشار پایین) حرکت کند. نیروی کوریولیس: ناشی از چرخش زمین که مسیر حرکت آب را منحرف می کند. با برقراری تعادل بین این دو نیرو، جریان هایی موازی با خطوط تراز توپوگرافی دینامیکی شکل می گیرند، سرعت این جریان ها مستقیماً از شیب سطح دریا (که از ADT محاسبه می شود) با استفاده از معادلات ژئواستروفتیک به دست می آید.

آب و هوا (Weather) و اقلیم (Climate):

- ✓ شرایط جوی یک منطقه در بازه زمانی کوتاه (ساعت، روز و هفته) را **آب و هوا** می نامند.
- ✓ میانگین الگوهای آب و هوایی در یک بازه زمانی طولانی را **اقلیم** گویند.
- **تغییر اقلیم (Climate Change)** به معنای هرگونه تغییر معنادار و پایدار در معیارهای آماری اقلیم (مانند میانگین دما، الگوهای بارش) است که برای دهه ها یا بیشتر به طول می انجامد.
- آنچه امروزه به عنوان تغییر اقلیم از آن یاد می شود گرمایش سریع سیستم اقلیمی زمین است که عمدتاً ناشی از فعالیت های انسانی می باشد. این پدیده اغلب **گرمایش جهانی (Global Warming)** نیز نامیده می شود.

پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر تراز دریا:

گرمایش جهانی به افزایش بلندمدت میانگین دمای کره زمین اطلاق می‌شود که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی، به ویژه سوزاندن سوخت‌های فسیلی و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو است. اقیانوس‌ها بیش از ۹۰٪ این گرمای اضافی را جذب کرده‌اند که این امر منجر به دو مکانیسم اصلی برای بالا آمدن سطح آب دریاها شده است.

۱. انبساط حرارتی آب اقیانوس‌ها (اثر استریک) این عامل، اصلی‌ترین دلیل افزایش تراز آب دریا در قرن بیستم بوده است. مفهوم فیزیکی: آب، مانند اکثر مواد، با افزایش دما منبسط می‌شود و حجم بیشتری را اشغال می‌کند. از آنجایی که اقیانوس‌ها حجم عظیمی از گرمای اضافی اتمسفر را جذب کرده‌اند، دمای کلی آن‌ها افزایش یافته و در نتیجه منبسط شده‌اند. این پدیده که به آن اثر استریک می‌گویند، باعث بالا آمدن سطح آب دریاها می‌شود بدون آنکه جرمی به آن‌ها اضافه شود. می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، آنومالی تراز دریا را به دو بخش استریک (ناشی از دما و شوری) و غیر استریک (ناشی از تغییر جرم) تفکیک کرد. پیش‌بینی‌ها برای خلیج فارس بیان می‌کند که تا سال ۲۱۰۰، دمای آب خلیج فارس بین ۲ تا ۳.۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. این گرمایش، به ویژه در لایه‌های سطحی، منجر به تقویت لایه‌بندی حرارتی شده و اختلاط عمودی آب را دشوارتر می‌کند.

۲. افزایش جرم آب اقیانوس‌ها (ذوب شدن یخ‌ها) این عامل در دهه‌های اخیر اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده و پیش‌بینی می‌شود که در آینده به عامل غالب تبدیل شود. مفهوم فیزیکی: گرمایش جهانی باعث ذوب شدن یخچال‌های طبیعی کوهستانی و صفحات یخی عظیم در گرینلند و قطب جنوب می‌شود. این آب ذوب‌شده که قبلاً روی خشکی ذخیره شده بود، وارد اقیانوس‌ها شده و به جرم کل آب آن‌ها اضافه می‌کند. این افزایش جرم مستقیماً باعث بالا آمدن سطح آب دریاها می‌شود. نکته مهم: ذوب شدن یخ‌های شناور دریایی (مانند یخ‌های قطب شمال) تأثیر چندانی بر افزایش تراز آب ندارد، زیرا این یخ‌ها از قبل در آب شناور بوده و حجم معادل خود را جابجا کرده‌اند (اصل ارشمیدس).

مؤلفه غیر استریک (یا جرمی) افزایش تراز آب، با استفاده از داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ای GRACE اندازه‌گیری می‌شود. این ماهواره‌ها می‌توانند جابجایی جرم آب ناشی از ذوب یخ‌ها را در سراسر کره زمین پایش کنند.

پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر تراز دریا:

- بالا آمدن سطح آب دریاها صرفاً یک عدد آماری نیست، بلکه پیامدهای جدی برای جوامع انسانی و اکوسیستم‌های ساحلی دارد:
- سیلاب‌های ساحلی و فرسایش: افزایش سطح آب باعث می‌شود که سیلاب‌های ناشی از طوفان و جزرومدهای شدید، مناطق وسیع‌تری از سواحل را در بر گیرند و فرسایش خطوط ساحلی را تشدید کنند.
 - شور شدن منابع آب شیرین: نفوذ آب شور دریا به سفره‌های آب زیرزمینی ساحلی و خورها (مصب رودخانه‌ها) می‌تواند منابع آب شیرین مورد نیاز برای کشاورزی و شرب را آلوده کند.
 - تهدید اکوسیستم‌های ساحلی: زیستگاه‌های حساسی مانند جنگل‌های حرا (مانگرو) و صخره‌های مرجانی که در خلیج فارس به شدت در معرض خطر قرار دارند. این اکوسیستم‌ها نمی‌توانند به سرعت با افزایش عمق آب سازگار شوند.
 - خطر برای زیرساخت‌ها و جمعیت: حدود یک چهارم جمعیت ایران در نواحی ساحلی زندگی می‌کنند. بالا آمدن سطح آب، زیرساخت‌های حیاتی مانند بنادر، جاده‌ها، نیروگاه‌ها و مناطق مسکونی را در معرض خطر قرار می‌دهد.
 - یک مورد خاص: دریاچه خزر به عنوان یک حوضه بسته، از قوانین جهانی تراز آب دریا پیروی نمی‌کند. تراز آب آن مستقیماً به ذوب یخ‌های قطبی یا انبساط حرارتی اقیانوس‌ها وابسته نیست. در عوض، تراز آب خزر یک شاخص حساس برای تغییرات اقلیم منطقه‌ای است و به تعادل بین دو عامل بستگی دارد: ورودی آب از رودخانه‌ها (عمدتاً رود ولگا) که به الگوهای بارش در حوضه آبریز آن وابسته است. میزان تبخیر از سطح دریا که با افزایش دما و سرعت باد تشدید می‌شود. بنابراین، گرمایش جهانی می‌تواند از طریق افزایش تبخیر (کاهش تراز) و تغییر در الگوی بارش در روسیه (افزایش یا کاهش ورودی رود ولگا)، نوسانات شدیدی را در تراز آب دریای خزر ایجاد کند که پیامدهای خاص خود را برای کشورهای حاشیه آن دارد.

پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر تراز دریا:

دریاچه خزر صرفاً یک پهنه آبی بزرگ نیست؛ بلکه یک آزمایشگاه طبیعی منحصربه‌فرد برای مطالعه تغییرات اقلیمی منطقه‌ای است و دینامیک آن با اقیانوس‌های آزاد تفاوت‌های بنیادین دارد. این ویژگی کلیدی، رفتار آن را کاملاً متمایز می‌کند.

تراز آب مستقل از اقیانوس جهانی: بالا آمدن جهانی سطح آب دریاها (ناشی از ذوب یخ‌های قطبی و انبساط حرارتی اقیانوس‌ها) تأثیری بر تراز آب خزر ندارد. شاخص حساس اقلیم منطقه‌ای: تراز آب خزر به طور مستقیم به تعادل بین میزان آب ورودی از رودخانه‌ها و میزان تبخیر از سطح دریا وابسته است. این دو عامل خودشان به شدت تحت تأثیر الگوهای بارش و دما در حوضه آبریز وسیع این دریا هستند. بنابراین، نوسانات تراز آب خزر، آینه‌ای تمام‌نما از تغییرات اقلیمی در یک منطقه بزرگ از اوراسیا است.

➤ در خزر جریان‌های پیچیده سطحی و عمقی توسط ترکیبی از چند نیروی اصلی به حرکت در می‌آیند:

۱. باد نیروی محرکه اصلی جریانات سطحی است. در بخش شمالی و کم‌عمق، جریان‌ها تقریباً به طور کامل از الگوی باد پیروی می‌کنند. در بخش‌های میانی و جنوبی، بادهای غالب باعث شکل‌گیری گرداب‌های بزرگ و پایداری می‌شوند که الگوی کلی گردش آب را تعیین می‌کنند. به طور کلی، یک گردش بزرگ پادساعتگرد (سیکلونیک) در حوضه‌های میانی و جنوبی غالب است.

۲. اختلاف چگالی: جریان‌های عمقی (ترموهالین) موتور اصلی گردش آب در اعماق است.

۳. ورودی رودخانه‌ها: رودخانه ولگا که به تنهایی حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد آب ورودی به خزر را تأمین می‌کند، آب شیرین و سبکی را وارد بخش شمالی می‌کند و یک گرادیان شوری قوی ایجاد می‌کند.

پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر تراز دریا:

نوار نقاله بزرگ دریای خزر: گردش عمقی آب یکی از شگفت‌انگیزترین ویژگی‌های دینامیکی دریاچه خزر، وجود یک سیستم گردش عمقی قدرتمند است که برای سلامت اکولوژیکی آن حیاتی است.

تشکیل آب چگال در شمال: در فصل زمستان، آب‌های کم‌عمق حوضه شمالی به شدت سرد می‌شوند. با تشکیل یخ، نمک از ساختار بلوری یخ خارج شده و شوری آب مایع باقی‌مانده را به شدت افزایش می‌دهد. این آب بسیار سرد و بسیار شور، به شدت چگال می‌شود. این توده آب سنگین، از فلات قاره شمالی به سمت حوضه عمیق‌تر میانی سرازیر می‌شود. این جریان عمقی پس از پر کردن حوضه میانی، از روی یک رشته‌کوه زیرآبی به نام آستانه آبشرون که حوضه میانی و جنوبی را از هم جدا می‌کند، سرریز کرده و به اعماق حوضه جنوبی می‌ریزد. این فرآیند، که مشابه یک "آبشار زیرآبی" عمل می‌کند، نقش حیاتی در تهویه آب‌های عمیق دارد. با انتقال آب‌های سطحی غنی از اکسیژن به اعماق، از "مرده" شدن و بی‌اکسیژن شدن لایه‌های زیرین (مانند اتفاقی که در دریای سیاه افتاده) جلوگیری می‌کند.

➤ **دینامیک پیچیده دریاچه خزر آن را به شدت در برابر تغییرات اقلیم آسیب‌پذیر می‌کند:**

✓ **تهدید برای گردش عمقی:** گرمایش جهانی به معنای زمستان‌های معتدل‌تر و کاهش پوشش یخ در شمال خزر است. کاهش یخ به معنای کاهش فرآیند شورابه‌زدایی و در نتیجه تولید کمتر آب چگال است. این پدیده می‌تواند موتور اصلی گردش عمقی را تضعیف کرده یا حتی متوقف کند. چنین اتفاقی پیامدهای فاجعه‌باری برای اکوسیستم خزر خواهد داشت، زیرا با قطع شدن اکسیژن‌رسانی به اعماق، "مناطق مرده" گسترده‌ای ایجاد خواهد شد.

✓ **وابستگی جریان عمقی به باد:** جریان‌های سطحی قوی ناشی از طوفان‌های بادی، تأثیر مستقیمی بر ایجاد جریان‌های قوی در عمق دارند. تغییر در الگوها و شدت بادهای منطقه‌ای ناشی از تغییر اقلیم، می‌تواند این ارتباط حیاتی را نیز دگرگون کند.

✓ **نوسانات شدید تراز آب:** آینده تراز آب خزر نامشخص است. افزایش دما باعث افزایش تبخیر و کاهش تراز آب می‌شود. از سوی دیگر، تغییر در الگوهای بارش در حوضه آبریز ولگا می‌تواند ورودی آب را افزایش یا کاهش دهد. این عدم قطعیت، مدیریت سواحل و زیرساخت‌های ساحلی را با چالش جدی روبرو می‌کند. در مجموع، دریای خزر یک سیستم پیچیده و به هم پیوسته است که سلامت آن به تعادل ظریفی بین باد، دما، شوری و ورودی آب شیرین بستگی دارد. تغییرات اقلیم با برهم زدن این تعادل، نه تنها جریان‌های سطحی، بلکه حیات‌بخش‌ترین فرآیند آن یعنی گردش آب عمقی را نیز به طور جدی تهدید می‌کند.

پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر تراز دریا:

خلیج فارس از طریق تنگه هرمز به دریای عمان و اقیانوس هند متصل است. این اتصال، کل سیستم گردش آب آن را تعریف می‌کند. گردش آب در خلیج فارس یک نمونه کلاسیک از گردش ترموهالین در یک حوضه تبخیری یا به اصطلاح خور معکوس است. این سیستم دو لایه اصلی دارد:

➤ **جریان ورودی سطحی (لایه بالایی):** آب نسبتاً خنک‌تر و با شوری کمتر از دریای عمان و اقیانوس هند، از طریق لایه‌های سطحی تنگه هرمز وارد خلیج فارس می‌شود. این جریان پس از ورود، به دلیل نیروی کوریولیس، به سمت راست منحرف شده و به صورت یک جریان قوی در امتداد سواحل ایران به سمت شمال غرب حرکت می‌کند که به آن "جت ساحلی ایران" نیز می‌گویند.

➤ **جریان خروجی عمقی (لایه پایینی):** آب ورودی پس از گردش در پهنه وسیع و کم‌عمق خلیج فارس، تحت تأثیر تبخیر بسیار شدید قرار می‌گیرد. این تبخیر، شوری و در نتیجه چگالی آب را به شدت افزایش می‌دهد. در فصل زمستان، سرد شدن هوا این آب را چگال‌تر نیز می‌کند. این توده آب جدید، سنگین و بسیار شور به اعماق فرو رفته و در کف دریا به سمت تنگه هرمز حرکت کرده و از قسمت‌های عمیق‌تر تنگه به دریای عمان سرریز می‌کند. این چرخه دو لایه، مانند یک سیستم تنفسی عمل می‌کند که زمان ماندگاری آب در خلیج فارس را تعیین می‌کند. این زمان برای لایه‌های سطحی بین ۱ تا ۳ سال و برای لایه‌های عمقی تا ۸ سال تخمین زده شده است.

□ **پیچیدگی‌های سطحی:** بر روی این گردش اصلی ترموهالین، نیروهای دیگری نیز سوار می‌شوند که الگوهای جریان را پیچیده‌تر می‌کنند. باد غالب در منطقه، باد شمال غربی است. این باد تنش قابل توجهی بر سطح آب وارد کرده و جریان‌های سطحی قدرتمندی ایجاد می‌کند. بادهای عامل اصلی شکل‌گیری گرداب‌های بزرگ و فصلی در مرکز خلیج فارس هستند.

□ **گرداب‌های سیکلونیک و آنتی‌سیکلونیک:** مدل‌سازی‌ها وجود گردش‌های پادساعتگرد (سیکلونیک) و ساعتگرد (آنتی‌سیکلونیک) را در مناطق مختلف خلیج فارس تأیید می‌کنند. این گرداب‌ها نقش مهمی در اختلاط آب و توزیع مواد مغذی و آلاینده‌ها دارند.

پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر تراز دریا:

آینده: خلیج فارس در سایه تغییرات اقلیم.

۱. پیش‌بینی می‌شود که دمای آب خلیج فارس به میزان ۲ تا ۳.۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. این افزایش دما برای اکوسیستمی که همین حالا نیز در آستانه تحمل دمایی بسیاری از موجوداتش قرار دارد، فاجعه‌بار است و مستقیماً به پدیده‌هایی مانند سفید شدن گسترده صخره‌های مرجانی منجر خواهد شد.

۲. **تقویت شدید لایه‌بندی حرارتی:** مهم‌ترین یافته این است که گرمایش در لایه‌های سطحی بسیار شدیدتر از لایه‌های عمقی خواهد بود. این امر اختلاف چگالی بین سطح و عمق را به شدت افزایش داده و لایه‌بندی حرارتی را بسیار قوی‌تر می‌کند. این لایه‌بندی مانند یک "درپوش" عمل کرده و پیامدهای زیر را به دنبال دارد:

- ✓ جلوگیری از اختلاط عمودی، تبادل آب بین لایه‌های سطحی و عمقی به شدت کاهش می‌یابد.
- ✓ کاهش مواد مغذی: مواد مغذی که در اعماق بازتولید می‌شوند، دیگر به راحتی به سطح نمی‌رسند و این امر بهره‌وری بیولوژیکی (رشد فیتوپلانکتون‌ها و در نتیجه کل زنجیره غذایی) را کاهش می‌دهد.
- ✓ کاهش اکسیژن در اعماق: با قطع شدن ارتباط با سطح، اکسیژن‌رسانی به آب‌های عمیق متوقف شده و احتمال ایجاد "مناطق مرده" افزایش می‌یابد.

۳. مدل‌سازی نشان می‌دهد که سرعت جریان‌ها در اقلیم آینده، به ویژه در فصل تابستان، به میزان ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر بر ثانیه افزایش خواهد یافت. این افزایش سرعت نیز در جریان‌های سطحی محسوس‌تر است. این پدیده می‌تواند زمان ماندگاری آب را کاهش داده و الگوی پراکندگی آلاینده‌ها و لارو موجودات دریایی را به کلی دگرگون کند. در مجموع، خلیج فارس که هم‌اکنون نیز یک محیط دریایی با شرایط حدی (دمای بالا و شوری زیاد) است، در آینده‌ای نه چندان دور به یک "دیگ تحت فشار" اقلیمی تبدیل خواهد شد. گرمایش جهانی، ویژگی‌های ذاتی آن مانند لایه‌بندی حرارتی را تشدید کرده و دینامیک آن را سریع‌تر می‌کند، که این امر فشار بی‌سابقه‌ای بر اکوسیستم منحصربه‌فرد و حساس آن وارد خواهد کرد.

با تشکر از توجه شما