

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۳۸۸/۹/۱۸

۱۳۷۱۵۱ - ۲۰۰۹۰۱۸



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم دریایی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

گروه فیزیک دریا

بررسی تغییرات مکان-زمان تراز آب دریای خزر با استفاده از

مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره‌ای

نگارنده:

مسلم ایمانی

استاد راهنما اصلی:

۱۳۸۸/۹/۱۸

دکتر محمدرضا بنزاده ماهانی

استاد راهنما دوم:

دکتر علیرضا آزموده اردلان

مهر ماه ۸۸

۱۲۷۱۵۱



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم دریایی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

گروه فیزیک دریا

بررسی تغییرات مکان-زمان تراز آب دریای خزر با استفاده از

مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره‌ای

نگارنده:

مسلم ایمانی

استاد راهنما اصلی:

دکتر محمدرضا بنازاده ماهانی

استاد راهنما دوم:

دکتر علیرضا آزموده اردلان

مهر ماه ۸۸

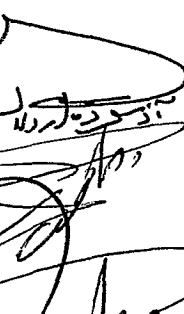
تأییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیات داوران نسخه نهائی پایان نامه آقای مسلم ایمانی

تحت عنوان: بررسی تغییرات مکان- زمان تراز آب دریای خزر با استفاده از مشاهدات ارتفاع

سنجی ماهواره ای.

را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
۱- استاد راهنما	دکتر محمدرضا بنزاده	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر علیرضا آزموده اردلان	دانشیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	مهندس داریوش منصوری	مربی	
۴- استاد ناظر	دکتر کریم سلیمانی	دانشیار	
۵- استاد ناظر	مهندس داریوش منصوری	مربی	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.





شماره:.....

تاریخ:.....

پیوست:.....

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده (۱) در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) های خود، مراتب را قبلاً به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

ماده (۲) در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
((کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته فیزیک دریا است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد رضا بنازاده ماهانی و استاد محترم آقای دکتر علیرضا آزموده اردلان از آن دفاع شده است.))

ماده (۳) به منظور جبران بخشی از هزینه های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده (۴) در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه نماید.

ماده (۵) دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده (۶) اینجانب مسلم ایمانی دانشجوی رشته فیزیک دریا در مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

"دانشی که تو را اصلاح نکند، گمراهی است"

امام علی (ع)

تقدیم به

پدرم، افتخار زیستتم

مادرم، باران مهربانی روئیدم

و همسرم، اعتبار بودم

"یارب"

نگارنده بر خود لازم می‌داند از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند

اساتید راهنمای گرامی، جناب آقای دکتر محمد رضا بنزاده ماهانی و جناب آقای دکتر علیرضا

آزموده اردلان کمال تشکر و قدردانی را نماید.

همچنین صمیمانه‌ترین سپاس‌ها تقدیم به دوستان بزرگوارم جناب آقای مهندس عباس جعفری و

مهندس جواد چنگی به پاس همراهی بی‌دریغشان در تکمیل پژوهش حاضر

در پایان از همکاری‌های بی‌دریغ سازمان فضایی فرانسه (CNES) و مرکز AVISO در ارائه

اطلاعات مورد نیاز این مطالعه کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

چکیده

بیشتر از ده سال است که ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، روش موفقیت‌آمیزی جهت پایش تغییرات تراز آب آب‌های سطح قاره‌ای مانند دریاهای درون قاره‌ای، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و اخیراً مناطق تالابی معرفی شده است. یکی از مشکلات ملی در سال‌های اخیر، نوسانات تراز سطح آب دریای خزر و تاثیرات مخرب آن بر تاسیسات نیروی دریایی، بندری و شیلات، صنایع کشتیرانی، حمل و نقل، نیروگاه ناک، نواحی مسکونی و نیز صدمات جبران ناپذیر زیست‌محیطی بوده است. در ایران، به دلیل کمبود امکانات و پایین بودن دقت نوسان‌نگارهای ساحلی، و نیز حرکات عمودی پوسته زمین، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را در تعیین تراز آب دریا ضروری می‌سازد. در این پژوهش برای بررسی تغییرات مکان-زمان تراز آب خزر از مشاهدات دو ارتفاع‌سنج TOPEX/Poseidon(T/P) و Jason-1(J-1) در یک دوره ۱۵ (۱۹۹۳-۲۰۰۸) ساله استفاده شد. پس از اعمال تصحیحات لازم بر روی داده‌ها جهت تحلیل آنها از رویه‌های چندجمله‌ای با کمترین مربعات به شرط اسپلاین بکار گرفته شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه تحلیل‌های ذکر شده، میانگین (انحراف معیار) تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸، $۲۶/۵۰ -$ (۰/۶۸) متر پایین‌تر از سطح متوسط آب اقیانوس‌ها (سطح ژئوئید) بوده است. همچنین، حداکثر مقدار تراز آب دریای خزر $۲۵/۹۷ -$ متر در تابستان ۱۹۹۵ و حداقل مقدار آن در پاییز ۲۰۰۱ برابر با $۲۶/۸۲ -$ متر بوده است. آزمون همبستگی با ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که همبستگی قوی میان تغییرات تراز آب بخش‌های مختلف خزر و همچنین نوسان‌گارهای ساحلی با داده‌های ماهواره‌ای وجود دارد. نکته قابل ملاحظه، تفاوت در نرخ‌های افزایش و کاهش سالیانه تراز آب و در نتیجه عدم خطی بودن روند سالیانه تراز آب دریای خزر می‌باشد و این به معنی آنست که تغییرات تراز آب دریای خزر به کمک یک مدل ساده قابل پیش‌بینی نبوده و عوامل متعددی در بروز این تغییرات دخیل می‌باشند.

کلید واژه: ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، دریای خزر، تراز آب، رویه‌های چندجمله‌ای، T/P و J-1

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل ۱: مقدمه و کلیات
۱	۱-۱ مقدمه
۳	۱-۱-۱ ضرورت انجام تحقیق
۵	۱-۱-۲ اهداف
۵	۱-۱-۳ فرضیه‌های پژوهش
۶	۲-۱ کلیات
۶	۱-۲-۱ منطقه مورد مطالعه
۷	۱-۲-۱-۱ تقسیم‌بندی خزر بر اساس عمق
۹	۱-۲-۱-۲ شرایط آب و هوایی دریای خزر
۱۱	۱-۲-۱-۳ پارامترهای فیزیکی دریای خزر
۱۳	۱-۲-۲-۱ روش‌های اندازه‌گیری تراز آب
۱۴	۱-۲-۲-۱-۱ روش ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای
۱۷	۱-۲-۲-۱-۲ ماهواره ارتفاع‌سنج (TOPEX/Poseidon (T/P)
۱۹	۱-۲-۲-۱-۳ ماهواره ارتفاع‌سنج Jason-1
	فصل ۲: مروری بر منابع تحقیق
۲۱	۱-۲ مطالعات انجام شده در خارج از کشور
۲۵	۲-۲ مطالعات انجام شده در داخل کشور
	فصل ۳: مواد و روش‌ها
۲۷	۱-۳ مفاهیم کاربردی
۲۷	۱-۳-۱ درونیابی و برازش توابع چندجمله‌ای
۲۸	۱-۳-۲ درونیابی اسپلاین دو بعدی
۳۳	۱-۳-۳ بیضوی مرجع
۳۳	۱-۳-۴ ژئوئید
۳۷	۱-۳-۵ مدارها، دورها و گذرها
۳۷	۱-۳-۶ خطاهای موجود برای ارتفاع‌سنج‌ها
۳۷	۱-۳-۷ خطاهای محیطی و تصحیح آن‌ها
۳۸	۱-۳-۷-۱ تاثیر تروپوسفر (خشک و تر)

۳۹	۲-۷-۱-۳ تاثیر یونوسفر
۴۰	۳-۷-۱-۳ تاثیر امواج اقیانوسی (بایاس (bias) الکترومغناطیسی)
۴۰	۴-۷-۱-۳ تاثیر فشار معکوس
۴۱	۵-۷-۱-۳ اثرات جزر و مدی
۴۲	۲-۳ آماده‌سازی و تحلیل داده‌ها
۴۲	۱-۲-۳ داده‌های ارتفاع‌سنجی مورد استفاده
۴۳	۲-۲-۳ پالایش داده‌ها
۴۹	۳-۲-۳ محاسبه تراز آب از سطح ژئوئید
۵۰	۴-۲-۳ تجزیه و تحلیل داده‌ها
۵۱	۵-۲-۳ نرم‌افزارهای مورد استفاده

فصل ۴: نتایج

۵۲	۱-۴ نتایج به دست‌آمده برای کل دریای خزر
۵۸	۲-۴ نتایج به دست‌آمده برای خزر شمالی
۶۰	۳-۴ نتایج به دست‌آمده برای خزر میانی
۶۲	۴-۴ نتایج به دست‌آمده برای خزر جنوبی
۶۳	۵-۴ نتایج به دست‌آمده در نقاط تقاطع گذر برای خزر
۶۵	۶-۴ بررسی و مقایسه داده‌های حاصل از مشاهدات ماهواره‌ای با داده‌های نوسان-نگارهای ساحلی
۶۷	۷-۴ اجرای نرم‌افزار

فصل ۵: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶۹	۱-۵ بحث
۷۶	۲-۵ نتیجه‌گیری
۷۷	۳-۵ پیشنهادات
۷۸	منابع ضمائم

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۴	جدول ۱-۱ لیست ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی و مشخصات آن‌ها
۱۹	جدول ۲-۱ مشخصات ماهواره TOPEX/Poseidon (T/P)
۵۷	جدول ۱-۴ نرخ تغییرات تراز آب دریای خزر محاسبه شده به وسیله داده‌های ارتفاع-سنجی T/P و J-1 از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸ (سانتی‌متر بر سال)
۶۰	جدول ۲-۴ نرخ تغییرات تراز آب خزر شمالی محاسبه شده به وسیله داده‌های ارتفاع-سنجی T/P و J-1 از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸ (سانتی‌متر بر سال)
۶۱	جدول ۳-۴ نرخ تغییرات تراز آب خزر میانی محاسبه شده به وسیله داده‌های ارتفاع-سنجی T/P و J-1 از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸ (سانتی‌متر بر سال)
۶۳	جدول ۴-۴ نرخ تغییرات تراز آب خزر جنوبی محاسبه شده به وسیله داده‌های ارتفاع-سنجی T/P و J-1 از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸ (سانتی‌متر بر سال)

فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۵۶	نمودار ۱-۴ تغییرات فصلی تراز آب دریای خزر در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۵۷	نمودار ۲-۴ تغییرات سالیانه تراز آب دریای خزر در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۵۹	نمودار ۳-۴ تغییرات فصلی تراز آب خزر شمالی در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۰	نمودار ۴-۴ تغییرات سالیانه تراز آب خزر شمالی در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۱	نمودار ۵-۴ تغییرات فصلی تراز آب خزر میانی در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۱	نمودار ۶-۴ تغییرات سالیانه تراز آب خزر میانی در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۲	نمودار ۷-۴ تغییرات فصلی تراز آب خزر جنوبی در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۳	نمودار ۸-۴ تغییرات سالیانه تراز آب خزر جنوبی در خلال سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۴	نمودار ۹-۴ تغییرات سالیانه تراز آب در دو نقطه تقاطع گذر در طول سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۴	نمودار ۱۰-۴ تغییرات فصلی تراز آب در دو نقطه تقاطع گذر در طول سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸
۶۶	نمودار ۱۱-۴ مقایسه روند تغییرات تراز آب داده‌های نوسان‌نگارهای ساحلی بندر صدرا با مشاهدات ماهواره‌ای نزدیک‌ترین نقطه به بندر
۶۶	نمودار ۱۲-۴ مقایسه روند تغییرات تراز آب داده‌هاب نوسان‌نگارهای ساحلی بندر نوشهر با مشاهدات ماهواره‌ای نزدیک‌ترین نقطه به بندر
۷۴	نمودار ۱-۵ تغییرات تراز آب دریای خزر در خلال سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۹۳ (Creatux و همکاران؛ ۲۰۰۶)
۷۵	نمودار ۲-۵ تغییرات تراز آب دریای خزر در خلال سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۳ (Lebedev و همکاران؛ ۲۰۰۸)

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۷	شکل ۱-۱ حوضه آبخیز دریای خزر
۹	شکل ۲-۱ تقسیم‌بندی دریای خزر براساس عمق (بخش آبی حوضه خزر)
۱۵	شکل ۳-۱ ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی بر اساس میزان دقت
۱۶	شکل ۴-۱ ماهواره ارتفاع‌سنج در حال مأموریت در شرایط آب و هوایی مختلف
۱۸	شکل ۵-۱ ماهواره TOPEX/Poseidon (T/P) و اجزا سازنده آن
۲۰	شکل ۶-۱ ماهواره Jason-1 و سیستم‌های نصب شده بر روی آن
۳۴	شکل ۱-۳ ژئوئید دقیقا یک سطح هم پتانسیل از سطوح هم پتانسیل زمین است که به بهترین نحو بر سطح آبهای آزاد منطبق می‌شود. این سطح هم پتانسیل بصورت سطح مبنای ارتفاعی در بسیاری از کشورها به صورت استاندارد استفاده می‌شود.
۳۵	شکل ۲-۳ ابزارها و تجهیزات مورد استفاده در محاسبه ژئوئید
۴۳	شکل ۳-۳ گذرهای که دریای خزر را جاروب می‌کنند
۴۷	شکل ۴-۳ گذرهای ماهواره T/P در ۳۰ سپتامبر ۱۹۹۴
۴۸	شکل ۵-۳ گذرهای ماهواره J-1 در جولای ۲۰۰۶
۴۸	شکل ۶-۳ فراوانی مشاهدات کل نقاط پای ماهواره در امتداد گذر در دریای خزر
۵۰	شکل ۷-۳ شمایی فرضی از ماتریس مکعبی استفاده شده در این پایانامه
۵۱	شکل ۸-۳ شمایی فرضی از نحوه قرار گرفتن داده‌ها (ارتفاع آب) در گذر ۰۹۲، به صورت یک شبکه که رئوس هر مربع بیانگر ارتفاع تراز آب می‌باشد. بر روی این شبکه رویه‌های چندجمله‌ای با کمترین مربعات برازش داده می‌شود.
۵۳	شکل ۱-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در پاییز ۲۰۰۱
۵۳	شکل ۲-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در تابستان ۱۹۹۵
۵۴	شکل ۳-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در سال ۱۹۹۸
۵۴	شکل ۴-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در سال ۱۹۹۵
۵۵	شکل ۵-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در سال ۲۰۰۱
۵۵	شکل ۶-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در سال ۲۰۰۵
۵۵	شکل ۷-۴ نقشه تراز آب دریای خزر در سال ۲۰۰۸
۵۸	شکل ۸-۴ تراز آب دریای خزر نسبت به بیضوی مرجع در سال ۲۰۰۸
۶۸	شکل ۹-۴ نمایش تغییرات ماهیانه تراز آب دریای خزر در یک نقطه انتخابی
۶۸	شکل ۱۰-۴ نمایش تغییرات سالیانه تراز آب دریای خزر در یک نقطه انتخابی

فصل ۱

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

پایش منظم و جهانی مجموعه‌های بزرگ آبی یکی از اهداف اساسی جوامع علمی بین‌المللی است. اما در دهه‌های اخیر گرایش کمتری به استفاده از داده‌های زمینی مشاهده شده است (اردلان و هاشمی، ۱۳۸۵؛ Kouraev و همکاران، ۲۰۰۸؛ Cazanave، ۲۰۰۱). در بسیاری مناطق هزینه جمع‌آوری داده‌ها به دلایل اقتصادی استفاده از داده‌های زمینی را با محدودیت مواجه کرده است (Kosek و Niedzielski، ۲۰۰۸).

امروزه ارتفاع سنجی ماهواره‌ای به دلیل پوشش گسترده و دقت بالا، تصویری دقیق و صحیح از تغییرات سطح آب دریاها و مطالعه جریان‌ات سطحی دریایی در مقیاس جهانی ارائه داده که یقیناً از طریق مشاهدات ایستگاهی قابل تحقق نیست. چراکه هر نوسان‌نگار اطلاعات موضعی و محلی از وضعیت سطح آب دریا در اطراف خود را مشخص ساخته و مرتبط نمودن اطلاعات نوسان‌نگارها مختلف، نیازمند اتصال صفر آن‌ها به نقاط ارتفاعی هم‌مبنا می‌باشد (اردلان و جعفری، ۱۳۸۶). ماهواره‌ها سطح آب دریا را به عنوان یک محدوده زمینی در نظر گرفته و قادر به شناسایی کوچکترین تغییرات در ارتفاع سطح آب بوده و اندازه‌گیری سریع، جهانی و منظمی از توپوگرافی سطح دریاها را امکان‌پذیر می‌سازند (Cazanave، ۲۰۰۱).

بیشتر از ده سال است که ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، روش موفقیت‌آمیزی جهت پایش تغییرات تراز آب در ارزیابی آب‌های سطح قاره‌ای مانند دریا‌های درون قاره‌ای، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و اخیراً مناطق تالابی معرفی شده است (Birkett، ۱۹۹۴؛ Cazenave و همکاران، ۱۹۹۷؛ Kouraev و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات سال‌های اخیر استفاده از داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای را به منظور

تحلیل تغییر پذیری بین‌سالی و فصلی تراز آب توصیه کرده‌اند (Fenoglio-Marc, ۲۰۰۱؛ Campos و همکاران، ۲۰۰۱). در واقع دقت مکان-زمانی ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای امکان بررسی صحیح‌تری از تغییرات تراز آب سالیانه و فصلی مجموعه‌های آبی را فراهم می‌کند. از طرف دیگر ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای ما را قادر می‌سازد تا برخی از پارامترهای ضروری جهت محاسبه مقدار تبخیر، سرعت باد و بررسی تغییرات تراز آب را در دوره‌های زمانی مختلف بدست آوریم.

هرچند هدف اولیه ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای مطالعه تغییرات ارتفاع سطح دریاهاى باز بوده، اما در عین حال این روش به طور موفقیت آمیزی جهت پایش تغییرات سطح دریاهاى بسته، به کار گرفته شده است (Cazanave, ۲۰۰۱؛ Aladin و همکاران، ۲۰۰۵).

در میان ماهواره‌های متفاوت ارتفاع‌سنجی، TOPEX/Poseidon(T/P) و Jason-1(J-1) به دلیل موقعیت خاص آن‌ها در فضا، منحصر بفرد هستند. از زمان پرتاب آن‌ها در اکتبر ۱۹۹۲ تا حال حاضر، T/P و J-1 با دوره‌های تکرار ده روزه امکان مطالعه مجموعه‌های آبی را در طول گذرهای موجود بر روی کل اقیانوس‌ها و آب‌های سطحی قاره‌ای از ۶۶° عرض شمالی تا ۶۶° عرض جنوبی فراهم می‌کند (Papa و همکاران، ۲۰۰۳).

تأثیرات ناشی از تغییرات تراز آب در برخی موارد بسیار قابل توجه بوده و نیازمند مطالعات علمی متفاوتی جهت ارزیابی نحوه تغییرات و تأثیرات نوسانات تراز آب بر شرایط زیست‌محیطی منطقه است. به عنوان مثال، مناطق ساحلی و دلتاها شدیداً تحت تأثیر تغییرات سطح آب می‌باشند که این امر موجب تخریب‌های شدید اکولوژیکی در آن‌ها شده است. به طوری که این حوادث منجر به مطالعات بیشتری در زمینه ارتباط بین تغییرات سطح و تأثیرات بالقوه آن گشته است (Kroonenberg و همکاران، ۲۰۰۰؛ Panin, ۲۰۰۳). در میان دریاچه‌های بزرگ دنیا، دریای خزر بزرگترین مجموعه آبی درون‌قاره‌ای در دنیاست. دیگر ویژگی‌های خزر از جمله وسعت، عمق، ترکیبات شیمیایی، ویژگی‌های ساختار ترموهالینی و گردش آب آن، موجب شده که این دریاچه به

صورت یک دریای درون قاره‌ای ویژه طبقه‌بندی شود (Kosarev و Yablonskaya, ۱۹۹۴): دریای خزر به وسیله تغییرات چرخه‌ای و دامنه وسیع تراز آب در مقیاس‌های زمانی تاریخی توصیف می‌شود. بر اساس تحقیقات مختلف، از عوامل مهمی که در نوسانات تراز آب دریای خزر تاثیر زیادی دارد می‌توان به ورود آب از طریق رودخانه ولگا، تبخیر از سطح دریا، فعالیت‌های انسانی و بارندگی اشاره کرد که از این میان، تبخیر و رودخانه ولگا نقش مهمتری نسبت به سایر عوامل دارند (Arpe و همکاران، ۲۰۰۰).

ارائه یک پیش‌بینی قابل قبول از تغییرات سطح آب دریای خزر مسئله‌ای بسیار اساسی و کاربردی است و حل این مشکل بدون توضیح کافی و شناختن عوامل مؤثر بر تغییرپذیری ویژگی‌های دریای خزر که در طول دهه‌های گذشته صورت گرفته امکان‌پذیر نیست.

۱-۱-۱ ضرورت انجام تحقیق

یکی از مشکلات ملی در سال‌های اخیر، نوسانات تراز سطح آب دریای خزر و تاثیرات مخرب آن بر تاسیسات نیروی دریایی، بندری و شیلات، صنایع کشتیرانی، حمل و نقل، نیروگاه نکا، نواحی مسکونی و نیز صدمات جبران ناپذیر زیست‌محیطی بوده است (اردلان و جعفری، ۱۳۸۶). همچنین نوسانات تراز آب دریای خزر تاثیرات زیادی بر کشورهای مجاور داشته است و از آنجایی که اکثر شهرهای بزرگ در مجاور دریا (شهرهای بندری) قرار گرفته است، لذا بررسی نوسانات تراز آب دریای خزر یک ضرورت می‌باشد.

در گذشته، تعیین تغییرات دراز مدت تراز آب دریا، به وسیله نوسان‌نگارهای ساحلی صورت می‌گرفت؛ هرچند این ایستگاه‌ها اطلاعات موضعی دقیقی از تراز آب دریا بدست می‌دهند، اما ترکیب اطلاعات این نوسان‌نگارها به دلیل مشکلات یکسان سازی مبنای ارتفاع کاری دشوار است در عین حال، استفاده از آن‌ها مشکلات دیگری نیز به همراه دارد. از جمله این که نوسان‌نگارهای ساحلی،

تنها محدوده اطراف خود را اندازه‌گیری می‌کنند، بنابراین خشکی و خطوط ساحلی اثرات زیادی بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. همچنین بر اثر حرکت پوسته زمین، این وسایل در راستای عمودی حرکت می‌کنند و علاوه بر این اندازه‌گیری تراز آب برای برخی نقاط دوردست ممکن نیست (Lebedev و Kostianoy، ۲۰۰۸).

بعلاوه، از سال ۱۹۶۰ تا به امروز از تعداد ایستگاه‌های موجود اندازه‌گیری تراز آب در دریای خزر کاسته شده است. حل این مشکلات، با استفاده از داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای مرتفع می‌شود. در این روش، ارتفاع سطح آب نسبت به بیضوی مرجع یا مرکز ثقل اندازه‌گیری می‌شود و بدین ترتیب حرکات عمودی پوسته زمین حذف می‌شود. امروزه، اهمیت پیش‌بینی تراز آب دریا در طراحی مدل‌های هواشناسی و نیز در حفظ سواحل کمک می‌کند (Kosek و Niedzielski، ۲۰۰۸). در ایران، به دلیل کمبود امکانات و پایین بودن دقت نوسان‌نگارهای ساحلی به دلایل ذکر شده، و نیز حرکات عمودی پوسته زمین، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را در تعیین تراز آب دریا ضروری می‌کند.

دقت اندازه‌گیری ماهواره‌ها بسیار بالاست. تنها اشکال ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی در منابع خطای آن‌هاست، که در صورت تصحیح این خطاها از تمام روش‌های دیگر بهتر و مناسب‌تر است (Benada، ۱۹۹۷). با توجه به اهمیت روز افزون تأثیرات ناشی از نوسانات سطح آب دریای خزر و با در نظر گرفتن مطالعات مختلف محققان، مطالعه تغییرات سطح آب دریای خزر به روشی دیگر و کاربردی‌تر، به طوری که بتوان از نتایج آن به صورت عملی در سازمان‌ها و ارگان‌های تصمیم‌گیرنده استفاده کرد، ضروری احساس می‌شود؛ از این جهت پژوهش حاضر درصدد پاسخگویی به سؤالات زیر است:

۱- آیا روند تغییرات سطح آب در نواحی مختلف دریای خزر متفاوت است؟

۲- آیا استفاده از داده های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای روش مناسبی برای پایش تغییرات مکان-

زمان سطح آب دریای خزر است؟

۳- آیا تغییرات سطح دریای خزر محاسبه شده در این پژوهش با دیگر تحقیق‌های انجام شده در

دریای خزر توسط دیگر محققان همخوانی دارد؟

۲-۱-۱ اهداف

هدف از این تحقیق، بررسی مکان-زمانی تغییرات تراز آب دریای خزر در امتداد گذر با استفاده از

داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای می‌باشد. به طور کلی اهداف پژوهش حاضر را می‌توان به صورت

زیر خلاصه کرد:

۱- تعیین تعداد نقاط برداشتی پای ماهواره در هر گذر در کل سطح دریای خزر

۲- تشکیل سری زمانی برای کلیه نقاط برداشتی در هر گذر و نیز تصحیح خطای داده‌ها

۳- آنالیز مکان-زمان تغییرات تراز آب دریای خزر با استفاده از رویه‌های چند جمله‌ای به روش

کمترین مربعات با شرط اسپلاین

۴- نمایش تغییرات سطح آب دریای خزر در نقاط برداشتی و ارتفاع سنجی در حالت فصلی و

سالانه برای کل سطح دریای خزر

۵- مقایسه تغییرات سطح دریای برآورد شده در این پژوهش با دیگر تحقیق‌های انجام شده در

دریای خزر

۳-۱-۱ فرضیه‌های پژوهش

۱- روند تغییرات تراز آب در نواحی مختلف دریای خزر متفاوت است.

۲- استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای روش مناسبی برای پایش تغییرات مکان-زمان تراز

آب دریای خزر است.

۳- تغییرات تراز آب دریای خزر محاسبه شده در این پژوهش با دیگر تحقیق‌های انجام شده در دریای خزر توسط دیگر محققان همخوانی دارد.

۲-۱ کلیات

۱-۲-۱ منطقه مورد مطالعه

دریای خزر بزرگترین مجموعه آبی بسته دنیا با میانگین شوری تقریباً ۱۳ ppt می باشد. این دریاچه وسیع، بدون خروجی بوده و سواحل آن در مرزهای پنج کشور است: ایران، ترکمنستان، قزاقستان، روسیه و آذربایجان. این دریا، بزرگترین بخش باقیمانده از تجزیه دریای قدیمی تتیس است که در دوران اول تا دوران سوم زمین‌شناسی از قطب شمال تا اقیانوس هند امتداد داشته و در دوران سوم بر اثر ظهور چین‌خوردگی‌ها و پیدایش رشته‌کوه‌هایی مانند قفقاز و آسیای صغیر تجزیه و تقسیم شده و با بالا آمدن قاره اروپا و پیدایش فلات ایران دریاچه‌هایی از جمله خزر به وجود آمده‌اند. دریای خزر از شمال و جنوب به ترتیب محدود به مدارهای ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه و از غرب و شرق نیز به ترتیب محدود به نصف‌النهارهای ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه است. طول این دریا در حدود ۱۰۳۰ کیلومتر و عرض آن از ۱۹۶ تا ۴۳۵ کیلومتر متغیر می‌باشد (David و Marina, ۲۰۰۲).

طول خط ساحلی آن ۵۵۸۰ km بوده و تراز آن پایین‌تر از MSL (Mean Sea Level) می‌باشد که بسته به بیلان آبی نوسان می‌کند. چنانچه تعادل آبی مثبت باشد، تراز آب افزایش یافته و اگر منفی باشد کاهش می‌یابد. دریای خزر به صورت نصف‌النهاری کشیده شده و سطح تقریبی آن نیز معادل ۴۳۶۰۰ km² و حجم آن در حدود ۷۷۷۰۰۰ km³ است. حداکثر عمق خزر ۱۰۲۵ متر و متوسط آن ۱۸۴ متر است.